

DINOSAURE **CAOUTCHOUC** VIVANT VISAGE AVC **HYDROGÈNE MÉTALLIQUE** LACS
LABRADOR CONSCIENCE **CŒUR** ROBOTS HACKERS CASQUE À VÉLO **DYNAMITE**

SCIENCE&VIE

SCIENCE & VIE

Mai 2017 N° 1196 MONDADORI FRANCE



ÉLECTIONS
D'AUTRES SCRUTINS
SONT POSSIBLES

**ANIMAUX
GÉNÉTIQUEMENT
MODIFIÉS**
BIENTÔT DANS
NOS ASSIETTES ?

CODÉINE
L'ADDICTION
EN VENTE
LIBRE

**OBJETS
CONNECTÉS**
LA NOUVELLE
BOMBE DES HACKERS

NEUROCHIRURGIE
AU BOUT DU SCALPEL,
LA CONSCIENCE

MATÉRIAUX
LE BOIS SURPASSE
LE BÉTON ET L'ACIER



VIVRE DANS L'ESPACE PAS SI SIMPLE...

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE
L'EUROPE À L'ABRI ?

D: 6,90 € - BEL: 4,80 € - ESP: 4,90 €
GR: 4,90 € - DOM S: 4,90 € - DOM A:
6,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,80 €
PORT CONT: 4,90 € - CAN: 6,75 \$ CAN
MAR: 50 DH - TOM S: 750 CFP - TOM A:
1400 CFP - CH: 8,50 FS - TUN: 9 DTU

M 02578 - 1196 - F: 4,50 € - RD



Renault ESPACE

Le temps vous appartient.



Comme Kevin Spacey, profitez de votre temps à bord de Renault Espace et découvrez-le sur **espace.renault.fr**

Consommations mixtes min/max (l/100km) : 4,4/6,2. Émissions CO₂ min/max (g/km) : 116/140.
Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.

Renault recommande **elf**



RENAULT
La vie, avec passion



Quand nous
améliorons la
qualité de l'air,
la qualité de
votre sommeil
s'améliore.

L'air ambiant impacte considérablement notre vie quotidienne. En fait, des études récentes montrent que la pollution de l'air peut augmenter le risque de problèmes respiratoires pendant la nuit, nuisant à la qualité de notre sommeil.

Nos catalyseurs contribuent à réduire fortement les émissions polluantes des véhicules et de l'industrie.

Si la qualité de votre sommeil n'est plus altérée par l'air que vous respirez, c'est parce que chez BASF, nous créons de la chimie.

Pour partager notre vision, rendez vous sur wecreatechemistry.com



 **BASF**
We create chemistry



Yves Sciama
y.sciama@mondadori.fr

Un dérèglement de plus ?

Les climatologues préviennent depuis plusieurs années que les changements climatiques seront sans doute, à l'avenir, moins graduels. Plusieurs études viennent donner chair à ces avertissements. Elles révèlent une forte probabilité que l'Europe soit la première région du monde à connaître une brutale variation de température en moins d'une décennie. Un défi inattendu de plus à relever.



Emmanuel Monnier
e.monnier@mondadori.fr

Neurochirurgie de l'extrême

Découper un cerveau sans anesthésie ? Et converser avec le patient durant toute l'opération ? Une mauvaise blague, ai-je cru au départ. Mais ma visite au bloc opératoire a vite eu raison de mon incrédulité. Car j'ai pu voir l'un des plus grands neurochirurgiens ôter devant moi, sur une patiente éveillée, une tumeur infiltrée grosse comme le poing. Le plus incroyable, c'est qu'elle mène, depuis, une vie tout à fait normale. Alors il faut bien se rendre à l'évidence : les manuels de neurologie, qui enseignent qu'il est impossible d'enlever une aire cérébrale sans dégât sur la fonction associée, sont à revoir. Et avec eux, nos conceptions rigides sur la façon dont le cerveau organise ce que nous sommes.



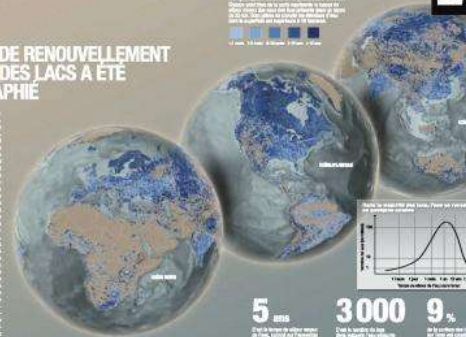
Alexandra Pihen
a.pihen@mondadori.fr

Le détail qui tue

Il y a un an, un spécialiste du système cardio-vasculaire me confiait sa surprise de constater que le simple confinement fait vieillir les artères. Une autre, que les os subissent des dommages irréversibles en apesanteur. Un suivant, que l'ADN se détériore sous l'effet des radiations cosmiques... C'en était trop. L'enquête méritait d'être menée de fond en comble. Car, à en croire les agences spatiales, tout semble prêt pour quitter notre berceau natal et tenter l'aventure martienne. Tout, à un détail près : l'homme.

24

LE TEMPS DE RENOUVELLEMENT DES EAUX DES LACS A ÉTÉ CARTOGRAPHIÉ



De nombreux facteurs... à plusieurs échelles... le temps de renouvellement des eaux des lacs a été cartographié. Les cartes montrent que le temps de renouvellement est plus long dans les régions arides et plus court dans les régions humides.

5 ans : C'est le temps de renouvellement des eaux des lacs en Europe.

3000 : C'est le nombre de lacs en Europe.

9% : C'est la part des lacs en Europe qui ont un temps de renouvellement supérieur à 10 ans.

40

Antidouleurs codéinés ALERTE À L'ADDICTION CACHÉE



Pour soulager le douleur, les antalgiques codéinés font aujourd'hui figure de non seulement le plus utilisé, mais le plus dangereux. Or, le patient ignore souvent, ces médicaments ont une véritable dépendance "psycho-pharmacologique". Un état de fait inquiétant, d'après Nicolas Hamon.

3,7 millions : Le nombre de personnes qui ont pris un antalgique codéiné en 2015.

17,8% : Le pourcentage de personnes qui ont pris un antalgique codéiné en 2015.

1,8 million : Le nombre de personnes qui ont pris un antalgique codéiné en 2015.

CoDoliprane : Antalgique codéiné.

EFFERALGAN : Antalgique codéiné.

46

VIVRE DANS L'ESPACE PAS SI SIMPLE...



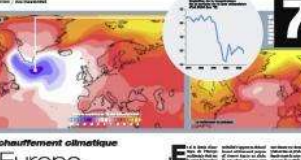
Ce n'est plus de la science-fiction : un jour, c'est sûr, l'homme ira sur Mars. Pour la Nasa et les entreprises privées qui se sont lancées dans la course, c'est une question d'années. Mais c'est oublier que l'espace est un milieu hostile. Vieillesse accélérée, atrophie musculaire, lésions de l'ADN... Sous l'effet de l'apesanteur et des rayons cosmiques, le corps humain se dégrade, et vite ! Sans compter le stress d'être si loin de tout, pendant si longtemps... La prise de conscience est récente. Elle est cruciale. Au moment où le grand rêve semble enfin à portée de main, voici que le principal défi se révèle être le rêveur lui-même.

PAR ALEXANDRA PIHEN

À LA UNE

74

Rechauffement climatique L'Europe à l'abri ?



Cette étude révèle, la région d'Europe... le réchauffement climatique a des conséquences importantes sur l'Europe. Les cartes montrent que le réchauffement est plus important dans les régions du sud et plus faible dans les régions du nord.

98

BIENTÔT DANS NOS ASSIETTES?



De nouvelles variétés de fruits et légumes... bientôt dans nos assiettes. Les cartes montrent que les nouvelles variétés sont plus nombreuses dans les régions du sud et moins nombreuses dans les régions du nord.

SCIENCE VIE 8, rue François-Orly 92543 Montrouge Cedex
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

Recevez **Science & Vie** chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 119.** Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un catalogue 12 p. Février Science & Vie n°1196 est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Croisière Science & Vie Toussaint Terre-Etoiles est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Croisière Perse Iran est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France/MO-TOM/Etranger. Un encart abonnement Questions/Réponses est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine.

08 Forum

Actus

14 Labos

Trois neurones géants relient l'ensemble du cerveau; des étoiles ont gardé la mémoire d'une vie antérieure; Neandertal se soignait par les plantes...

24 Environnement

Le temps de renouvellement des eaux des lacs a été cartographié...

30 Médecine

On sait enfin pourquoi la bronchiolite cible les bébés; le cerveau masculin serait davantage exposé à l'autisme...

36 Technos

Les UV inventent le papier réimprimable; une capsule qui carbure à l'acide gastrique...

Événement

- 40 Antidouleurs codéinés
Alerte à l'addiction cachée

A la Une

- 46 **VIVRE DANS L'ESPACE:
PAS SI SIMPLE...**
54 Le défi de l'apesanteur
58 Le défi des radiations
62 Le défi du stress

Science & découvertes

- 68 Evolution
Voici le premier visage!
71 Physique
**Et si l'on avait trouvé
la matière parfaite...**
74 Environnement
**Réchauffement climatique:
l'Europe à l'abri?**
78 Neurochirurgie
**Hugues Duffau: "Eveillé,
mon patient me guide"**

Science & techniques

- 86 Plus fort que le béton, plus léger que l'acier...
La revanche du bois
94 Code Mirai
La nouvelle bombe des hackers
98 Animaux génétiquement modifiés
Bientôt dans nos assiettes?

Science & futur

- 104 Des canopées urbaines pour plus d'énergie solaire; le robot bricoleur est né; un réseau internet de ballons pilotés par des I.A. est à l'essai; on pourra bientôt déposer son vélo partagé où on veut; un premier immeuble à énergie positive doit voir le jour sous climat très froid; un drone pour polliniser les fleurs est à l'étude; un robot teste la livraison de repas à domicile; des éoliennes battant des ailes comme des oiseaux sont en phase de test...

La science & la vie

Science & société

- 112 Elections: d'autres modes de scrutin sont possibles
116 Sécurité routière: le casque obligatoire à vélo n'est pas une si bonne idée
118 Santé publique: de plus en plus de jeunes adultes sont touchés par des AVC

Science & vie pratique

- 120 Bon à savoir
122 Technofolies

Science & culture

- 126 Questions/Réponses
130 A voir / à lire
132 Il y a... 150 ans: Nobel dépose le brevet de la dynamite

Forum

Merci d'adresser vos courriers à : sev.lecteurs@mondadori.fr

Soixante organes, vous avez bien compté ?

J'ai trouvé l'article d'Alexandra Pihen sur le nombre de nos organes (n° 1194) très intéressant, mais je doute que j'en possède effectivement 60, sauf à disposer à la fois des systèmes reproducteurs féminin et masculin ! Pour ma part, je dois donc en avoir 54, et elle 55.

Christophe Giroud,
Courbouzon (39)

SV En effet ! S'il existe bien au moins 60 organes humains répertoriés, personne ne les possède tous : le système reproducteur des femmes en compte six, et celui des hommes cinq. Il est donc indéniable que les dames en auront toujours un de plus... voire deux, si le clitoris, centre méconnu du plaisir féminin récemment décrypté,



était reconnu comme un organe à part entière. Il faudrait pour cela prouver qu'il peut être atteint de pathologies qui lui sont propres, ce qui n'est pas gagné... C'est

le même problème pour le mésentère. Un autre lecteur, souffrant de "panniculite mésentérique idiopathique", déplore l'absence de prise en compte de cette maladie par le corps médical et réclame l'attribution au mésentère du statut d'organe. Mais comme le rappelle Vincent Delmas, professeur d'anatomie et chirurgien urologue aux Hôpitaux de Paris, "*de nombreuses structures du corps humain peuvent présenter des pathologies secondaires handicapantes et reconnues sur le plan médical sans pour autant faire partie des organes. Dire qu'elles n'en sont pas ne signifie pas que la médecine s'en désintéresse*".

“ Dans le numéro de mars, vous écrivez qu'en 2022, une étoile naîtra sous nos yeux. KIC 9832227 étant distante de 1 800 années-lumière, tout ceci s'est donc passé pendant l'Empire romain, nous sommes d'accord ?

Sébastien Perrault, Lieusaint (77)



Les vrais chiffres de la matière noire

Combien y a-t-il vraiment de matière noire dans l'Univers ? D'après les mesures du satellite *Planck*, il y aurait environ 69 % d'énergie sombre, 26 % de matière noire et presque 5 % de matière baryonique. Pourquoi alors évoquez-vous souvent le chiffre de 85 % de matière noire ? Je me pose la question depuis longtemps...

Michel Noël, Québec

SV On obtient ce chiffre si l'on met de côté l'énergie sombre et que l'on se concentre sur la matière (qui ne représente que 31 % du contenu de l'Univers), qu'elle soit ordinaire ou noire. Dans ce cadre restreint, 15 % de cette matière est ordinaire, et 85 % noire.

Couper le moteur trop souvent ne lui fait pas du bien

A la question “Lors d’un arrêt en voiture, faut-il couper le moteur ou pas?” (n° 1194), votre réponse, qui ne prend en compte que l’aspect “consommation de carburant”, me semble exacte, mais incomplète. Ingénieur chez un grand constructeur automobile, je déconseille fortement le “stop & start” sur les véhicules qui ne sont pas équipés de cette technologie. Ce n’est pas optimal pour la consommation, mais cela évitera de changer de batterie et de démarreur plus souvent que prévu!

Julien Jousset, Longjumeau (91)

L'étrange suicide du scorpion

Les animaux peuvent-ils se suicider (n° 1194)? Pour moi, la réponse est oui. Gamin, j’ai fait partie d’une bande de petits crétins qui entourait un scorpion d’un cercle d’allumettes enflammées. L’animal essaya de s’échapper, avant d’enfoncer son dard dans sa nuque. Mon professeur de sciences naturelles me confirma qu’un scorpion est sensible à son propre venin. Le geste rapide et définitif de l’animal reste gravé dans ma mémoire depuis 60 ans. C’est peut-être ce qui m’a poussé vers le bouddhisme!

Al Narea, Paris

SV Vous n’êtes pas le seul à avoir été troublé par cette expérience du scorpion. Pierre-Henri Gouyon, spécialiste de l’évolution, nous a lui-même cité ce cas pour exprimer sa gêne quant aux réponses trop définitives sur le suicide des animaux. Sauf que contrairement à ce que vous a dit votre professeur, le scorpion est immunisé contre son venin! L’explication avancée pour comprendre son suicide est simplement la déshydratation: il se recroquevillerait sous l’effet de la chaleur, donnant l’impression de se piquer lui-même, frénétiquement.

On en reparle

ON PENSE TOUS QUANTI QUE

Vous croyez être rationnel? Faux. Du point d’indivisibilité quantique! Car de récentes expériences ont prouvé: lorsque nous pensons, raisonnons ou prenons une décision, nous n’obéissons pas aux règles de la logique classique, mais à celles, étranges et énigmatiques, de la mécanique quantique, où les choses ne sont plus carrément définies, mais intriquées, acquiescentes, coexistentes et superposées. Si vous ne savez rien mieux sur le rôle du psychisme humain, nos états d’esprit sortent d’accord des états quantiques. De quoi mieux se comprendre et comprendre les autres...

ET L’HUMOUR, C’EST QUANTIQUE ?

Ceci n’est pas une blague. Selon un article publié dans la revue *Frontiers in Physics*, l’effet que provoque sur nous une blague répondrait aux lois des particules élémentaires. Ce qui fait rire notre cerveau serait une affaire de “superposition”, d’“intrication” et de “décohérence”... soit le quotidien des systèmes quantiques.

En octobre 2015, nous avons présenté cette déroutante hypothèse selon laquelle le formalisme quantique pourrait être la manière dont les réseaux de neurones encodent et traitent les informations. Expériences à l’appui, des chercheurs ont montré comment cette étrange logique selon laquelle, par exemple, un événement et son contraire peuvent coexister permet de saisir des phénomènes cognitifs comme le doute, la prise de décision ou la mémoire.

“Nous voulions savoir s’il était possible de penser l’humour de cette façon”, explique Kirsty Kitto. La chercheuse australienne et ses collègues ont soumis 85 volontaires à 35 blagues produisant dans l’esprit une “superposition” de schémas cognitifs incompatibles ou inattendus (comme “Ce soir, on dîne chez toi ou chinois?”). En faisant varier les versions, ils ont alors montré que les calculs des probabilités d’“amusement” modélisés par leur modèle quantique étaient plus proches des résultats mesurés que ceux des modèles classiques. Le rire serait alors l’expression de la “décohérence” de cet état mental quantique superposé. A méditer lors de votre prochaine rigolade...

R.I. et H.P.



ŠKODA

**PRENDRE L'AIR :
IL N'Y A PAS
D'APPLIS POUR ÇA**



NOUVEAU ŠKODA KODIAQ

LE SUV JUSQU'À 7 PLACES.

À ceux qui pensent qu'une voiture ne peut pas être en même temps design, techno et fonctionnelle, nous répondons avec un SUV jusqu'à 7 places à l'habitacle immense et aux lignes élégantes. Son style unique et ses technologies innovantes ne laissent rien au hasard et vont vous surprendre. **ŠKODA KODIAQ, reconnectez-vous avec ce qui compte vraiment.**

Découvrez-le chez votre distributeur ŠKODA ou sur skoda.fr



Au Québec, la rougeole n'est pas éradiquée!

Dans le n° 1191, vous avez publié un article intitulé "Sur le continent américain, la vaccination a éradiqué la rougeole". C'est faux! Rien que dans mon petit cabinet, au Québec, j'ai dû traiter au moins 25 cas lors d'une épidémie en 2014. Dans la province, le nombre de malades s'est élevé à plusieurs centaines, dans des zones urbaines ou rurales, et même chez des enfants vaccinés. Les plus sévèrement atteints étaient des adolescents, et l'on recommande désormais une double vaccination. La rubéole non plus n'est pas éradiquée, contrairement à ce que vous affirmez. Je suis surpris que vous soyez si mal informés, et que vous publiiez sans vérifier.

Georges Arragon, Montréal

tout comme vous, été surpris! Nous avions en effet en mémoire des épidémies récentes de rougeole aux Etats-Unis. Mais il s'agit en réalité d'une nuance de vocabulaire: l'OMS considère seulement que le virus de la rougeole ne circule plus au sein de la population américaine. Autrement dit, les cas enregistrés entre 2003 et 2014 (environ 5 000, comme nous le signalions dans notre article) ont soit été directement importés (la maladie a été contractée par le patient en dehors du continent), soit résultent d'une contamination sur le sol américain à la suite de cette importation. Même chose pour le virus de la rubéole, que l'OMS considère comme éliminé de la zone Amérique depuis 2015.

Rectificatif

La masse de la technosphère (l'ensemble des matériaux produits par l'homme) n'est pas de 30 000 milliards de tonnes (n° 1193) mais de 30 milliards de milliards de tonnes. Nous sommes désolés pour cette erreur d'un facteur... 1 million!

On en reparle



Ils ont créé le premier chromosome artificiel

Après les centaines de milliers de lettres, qui demandent l'arrêt des recherches pour la fabrication d'un chromosome artificiel, les chercheurs ont décidé de publier leur travail sur une revue. La première étape est de créer un chromosome artificiel, qui sera utilisé pour générer un organisme.

CINQ NOUVEAUX CHROMOSOMES ONT ÉTÉ SYNTHÉTISÉS

Il y a deux ans, nous vous faisons part d'un vaste projet de biologie synthétique mené par une dizaine d'instituts mondiaux à la pointe de la génétique: réécrire et améliorer sur ordinateur le génome d'une levure (*Saccharomyces cerevisiae*, la levure de boulanger), puis le synthétiser "en vrai", chromosome après chromosome, afin de transformer totalement le micro-organisme. Nous avons été impressionnés par la réalisation complète du premier chromosome entièrement artificiel (le numéro 3) et par son insertion réussie *in vivo*. Une prouesse de l'université américaine Johns-Hopkins, qui en appelait d'autres...

Cette fois, la création de cinq nouveaux chromosomes synthétiques vient d'être annoncée: les numéros 2, 5, 6, 10 et 12! C'est donc désormais plus du tiers du génome de *S. cerevisiae* qui est recréé. Quant aux deux tiers restants, ils sont en cours de synthèse ou d'assemblage. Des croisements sont déjà en cours pour intégrer plusieurs chromosomes artificiels dans une même cellule – avec succès.

D'ici deux ans, ce projet, nommé Sc2.0, devrait réussir son défi. On pourrait ainsi voir naître le premier organisme eucaryote (avec un noyau) doté d'un génome artificiel de sa première à sa dernière lettre! De quoi multiplier les possibilités d'étude de la structure des génomes et du métabolisme, ou créer de nouvelles mutations et de nouvelles protéines.

C.H.

SV Et pourtant! Le 27 septembre 2016, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a bel et bien annoncé l'élimination du virus de la rougeole de la zone Amérique. Avant de relayer cette information, nous avons,

SCIENCE & VIE
 LA BOUTIQUE
 Livres & cadeaux scientifiques et insolites

Nouvelle boutique en ligne!

+ de
600

Livres
 Objets scientifiques
 Idées cadeaux

Rendez-vous vite sur : boutique.science-et-vie.com



DS AUTOMOBILES

SPIRIT OF
AVANT-GARDE

DS 3 CONNECTED CHIC

Edition Limitée



À PARTIR DE **250 €/MOIS⁽¹⁾**
SANS APPORT / SANS CONDITION

GARANTIE ET ENTRETIEN 3 ANS INCLUS - ASSISTANCE ÉTENDUE 24 H/24, 7 J/7
CLUB DS PRIVILÈGE - CONCIERGERIE - EN LLD SUR 36 MOIS/30 000 KM

Projecteurs DS LED Vision⁽²⁾ - Aide au stationnement avant et arrière avec caméra de recul
Mirror Screen⁽³⁾ avec technologies MirrorLink® et Apple CarPlay™ - Pavillon bi-ton Noir Onyx
Système de navigation sur tablette tactile 7" - DS Connect Box avec SOS et assistance inclus

DS préfère TOTAL

DSautomobiles.fr

Spirit of avant-garde = L'esprit d'avant-garde.

Modèle présenté : DS 3 PureTech 110 S&S BVM Connected Chic Édition Limitée avec options teinte de caisse Rouge Aden et projecteurs DS LED Vision (Location Longue Durée sur 36 mois/30 000 km, garantie et entretien 3 ans inclus - assistance étendue 24h/24, 7 j/7 : 36 loyers de 330 €).

(1) Exemple pour la LLD sur 36 mois et 30 000 km de DS 3 PureTech 82 S&S BVM Connected Chic neuve, hors options ; soit 36 loyers de 250 €. Contrat de garantie et entretien 3 ans inclus - assistance étendue 24h/24, 7 j/7 au prix de 21 €/mois pour 36 mois et 30 000 km (au 1^{er} des deux termes échus), conditions générales du contrat disponibles en point de vente. Montants TTC et hors prestations facultatives. Offre non cumulable, valable jusqu'au 31/05/17 dans la limite des stocks disponibles, réservée aux particuliers, dans le réseau Citroën/DS participant, et sous réserve d'acceptation du dossier par CREDIPAR, locataire gérant de CLV, SA au capital de 138 517 008 €, RCS Nanterre n° 317 425 981, 9 rue Henri Barbusse CS 20061 - 92623 Gennevilliers Cedex. ORIAS n° 07004921 (www.orias.fr). Le Contrat de garantie et entretien peut être souscrit indépendamment de toute LLD selon conditions disponibles en point de vente. (2) Équipement de série, en option ou non disponible selon les versions. (3) Nécessite un téléphone compatible.

CONSUMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO₂ DE DS 3 : DE 3,0 À 5,6 L/100 KM ET DE 79 À 129 G/KM. Automobiles Citroën RCS Paris 642 050 199

Dans les kiosques

LE SPORT ET LA SANTÉ

Avant de faire votre jogging ou d'aller suer dans une salle de sport, lisez ce numéro spécial. Vous y trouverez toutes les réponses aux questions que peuvent se poser les quelque 35 millions de Français qui s'adonnent aux plaisirs de l'activité physique.

Science & Vie Questions Réponses, 4,50 €



L'ALCHIMIE, "ART SACRÉ"

Aujourd'hui moquée, l'alchimie a alimenté nos sciences modernes et nos imaginaires. Loin de la boîte à fantasmagories ésotériques-occultes, cette étrange discipline fut un formidable laboratoire de recherche et une magnifique aventure intellectuelle.

Les Cahiers de Science & Vie, 5,95 €



SVD CHANGE DE TRONCHE !

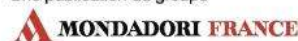
Les kids de 7-12 ans fans de Science & Vie Découvertes vont redécouvrir leur mag préféré. Un SVD toujours aussi fun, mais encore plus tonique et accompagné de numéros hors-série sur les thèmes qu'on adore : les animaux, la science étonnante, les merveilles de la planète...

Science & Vie Découvertes, 5,50 €



SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



RÉDACTION

8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Mathieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT

Grégoire Boullier (chef d'édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

Valérie Greffox (rédactrice en chef déléguée du site internet), Vincent Nouyrigat, Caroline Tourbe (médecine)

CHEFS DE RUBRIQUE

Mathilde Fontez (sciences fondamentales), Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Thomas Cavallé-Fol, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1^{re} maquettiste), Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo), Katia Davidoff, Boris Bellanger (chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, S. Aubin, K. Bettayeb, B. Bourgeois, S. Brunier, F. Cadu, S. Ceugniet-Brenot, G. Cirade, B. Crépin, A. Dagan, G. Debampour, A. Debroise, O. Donnars, S. Fay, F. Gracci, M. Grousson, E. Haentjens, C. Hancock, R. Ikonoff, M. Kontente, H. Leroux, T. Le Héret, E. Monnier, B. Perrin, N. Picard, A. Pihen, A. Rambaud, H. Rambert, B. Rey, Y. Sciama, M. Spée, E. Thierry-Aymé, A. Vernet

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

ABONNEMENTS ET DIFFUSION

DIRECTEUR MARKETING CLIENTS/DIFFUSION

Christophe Ruet

ABONNEMENTS

Catherine Grimaud (directrice marketing direct)
Juliette Mesnil (responsable marketing direct)

VENTES AU NUMÉRO

Jean-Charles Guérault (directeur diffusion), Siham Daassa (responsable diffusion marché)

BOULOTTE ET VPC

Sandrine Tiffreau (directrice vente à distance)
Arnaud Henaff (responsable marché)

MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon, Michèle Guillet

PUBLICITÉ

DIRECTEUR EXÉCUTIF

Valérie Camy

CONTACTS PUBLICITÉ

Virginie Commun (50 28), Lionel Dufour (50 19)

PLANNING

Angélique Consoli (53 52),
Stéphanie Guillard (53 50)

TRAFIC

Stéphane Durand (53 12)

OPÉRATIONS SPÉCIALES

Jean-Jacques Benezech (19 83)
Grande-Bretagne : Publieurope LTD
(infodol@publieurope.com -
44 (0)20 7927 9800);
Allemagne : Publieurope Munich
(infomunich@publieurope.com
0049 89 2908150);
Suisse : Publieurope Lausanne
(infolausanne@publieurope.com
0041 21 323 3110);
Espagne : PubliMedia Madrid
(infomadrid@publim-gestion.es
0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Daniel Rougier, Agnès Châtelet

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR

MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Ory

92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carminé Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF - ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 44,80 €

1 an, 12 numéros + 6 HS : 64,80 €

Dépôt légal : mai 2017

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,

CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Pour vous abonner par internet :

www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonné présent sur le film ainsi que vos coordonnées. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier :

8, rue François-Ory,

92543 Montrouge Cedex

Par mail : sev.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES

ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact@

laboutiquescienceetvie.com

AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL

Origine du papier : Allemagne.

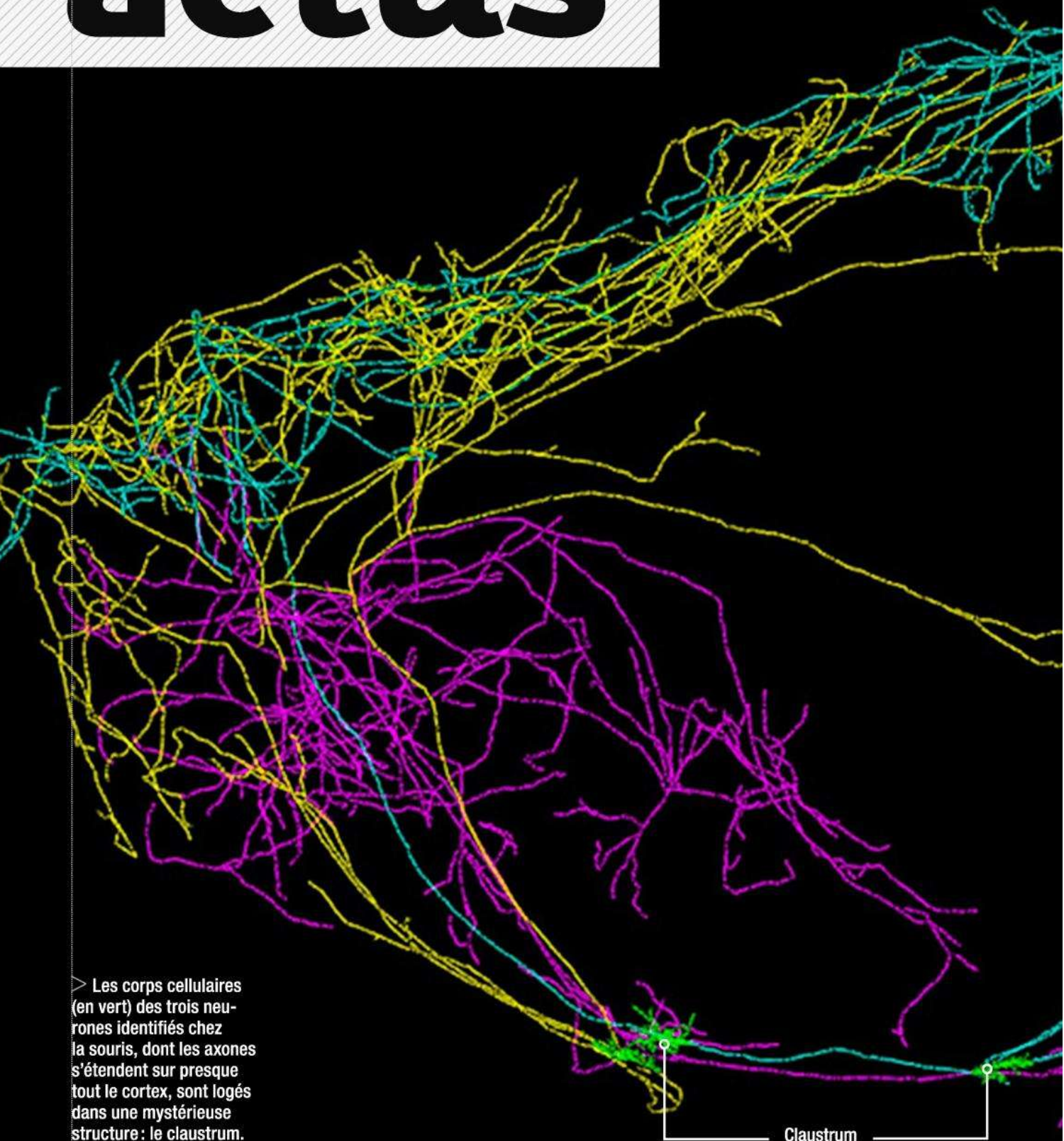
Taux de fibres recyclées : 0 %.

Certification : PEFC. Impact sur l'eau :

Ptot 0,016 kg/tonne

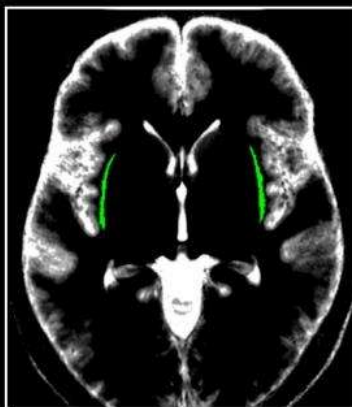


actus



> Les corps cellulaires (en vert) des trois neurones identifiés chez la souris, dont les axones s'étendent sur presque tout le cortex, sont logés dans une mystérieuse structure: le claustrum.

Clastrum



< Connecté à la plupart des régions cérébrales, le claustrum (ici en vert chez l'homme) est suspecté d'être le siège de la conscience.

NEUROLOGIE

TROIS NEURONES GÉANTS RELIENT L'ENSEMBLE DU CERVEAU

"Une couronne d'épines entourant le cortex." C'est en ces termes frappants que Christof Koch, neuroscientifique à l'institut Allen de Seattle, a qualifié l'un des trois neurones géants qu'il vient d'identifier, avec son équipe, dans le cerveau de la souris. Une découverte qui pourrait bien aider à expliquer comment émerge la conscience chez les mammifères... Car ces neurones ne sont pas qu'exceptionnellement longs: "Ils projettent leurs axones à travers presque tout le cortex cérébral, assure le chercheur. Le violet [voir image] s'étend au niveau du cortex frontal, le jaune et le bleu le long de la limite entre les deux hémisphères cérébraux. Le bleu embrasse même un hémisphère entier!" Reliant ainsi différentes zones impliquées dans la gestion des

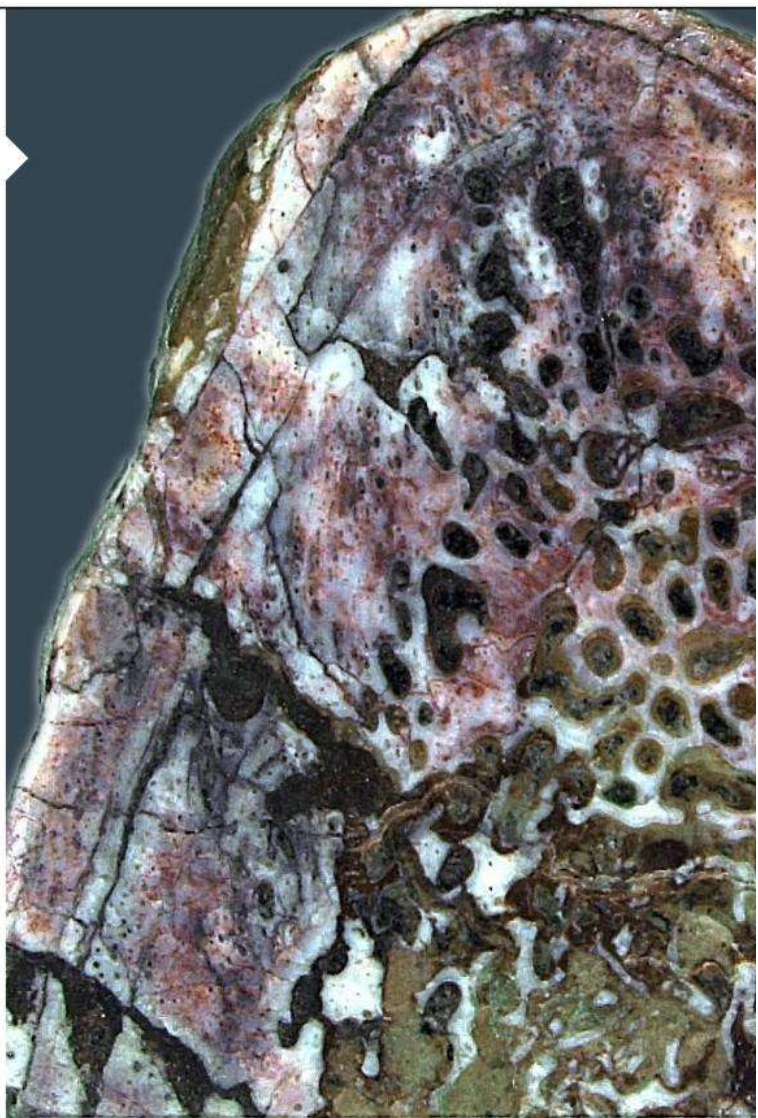
informations sensorielles et du comportement. Mieux: leurs corps cellulaires se situent dans une zone suspectée de jouer un rôle dans la conscience, le claustrum. *"C'est une structure énigmatique, explique le neurologue Fabrice Bartolomei, de l'université d'Aix-Marseille. Chez l'homme, sa stimulation altère la conscience de soi et de l'environnement. Cette découverte confirme qu'une forte connectivité la relie au cortex cérébral."* Christof Koch pense quant à lui que de nombreux autres neurones de ce type seraient logés dans le claustrum. *"Il est trop tôt pour lui attribuer une fonction, mais celle-ci doit impliquer le cortex entier",* pointe-t-il. Or qu'est-ce que la conscience, sinon une fusion de tout ce que notre cerveau est capable de détecter et d'emmagasiner? **T.C.-F.**

PALÉONTOLOGIE

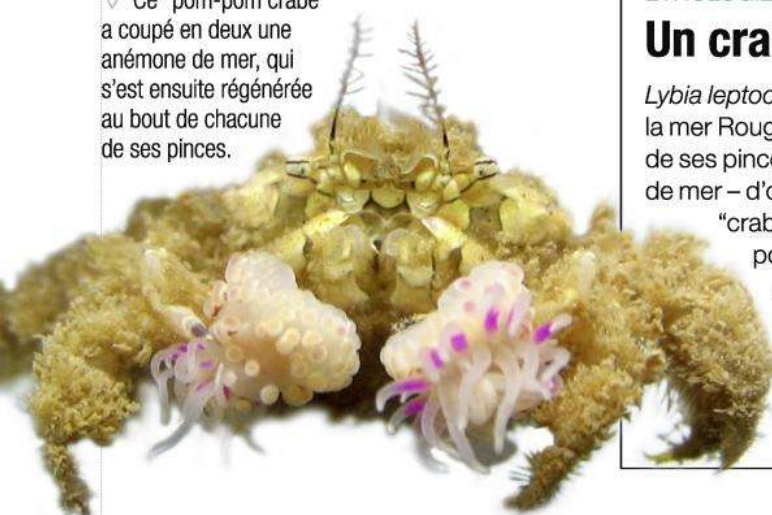
DES PROTÉINES TRÈS ÂGÉES ONT ÉTÉ EXTRAITES D'UN OS DE DINOSAURE

Des paléontologues taïwanais et canadiens ont réalisé un triple exploit : non seulement ils ont retrouvé dans la côte d'un *Lufengosaurus* (un dinosaure herbivore au long cou) des fragments de collagène (des tissus mous très rarement conservés lors du processus de fossilisation), mais en plus, leur échantillon date de 195 millions d'années, soit 120 millions d'années de plus que le plus ancien collagène de dinosaure découvert jusqu'ici. Enfin, en recourant à une technique appelée microspectroscopie IRTF, ils ont réussi à détecter ces tissus mous sans décalcifier l'os – ce qui arrive lors de trop

nombreuses manipulations, lesquelles risquent en plus de contaminer les échantillons. Les chercheurs sont sûrs que ces protéines de collagène proviennent bien de l'organisme du dinosaure. *"Nous les avons trouvées le long de canaux vasculaires, mélangées à des hématites, des petites particules de fer. Nous pensons que celles-ci proviennent de l'hémoglobine qui circulait dans ces canaux vasculaires"*, indique Yao-Chang Lee, l'un des chercheurs de l'université de Taïwan à l'origine de cette découverte. Il espère qu'elle permettra de mieux comprendre le lien entre dinosaures et oiseaux. **C.H.**



✓ Ce "pom-pom crabe" a coupé en deux une anémone de mer, qui s'est ensuite régénérée au bout de chacune de ses pinces.



ÉTHOLOGIE

Un crabe clone des anémones de mer

Lybia leptochelis, un crabe de la mer Rouge, arbore au bout de ses pinces des anémones de mer – d'où ses surnoms de "crabe boxeur" ou "pom-pom crabe" ! S'il les perd, il se bat avec ses congénères pour en récupérer une autre, qu'il s'empresse de

couper en deux. *"L'anémone étant une espèce asexuée, chaque partie est le clone génétiquement identique de l'autre"*, précise Yisrael Schnytzer, l'un des auteurs de l'étude à l'université Bar-Ilan (Israël). *Et au bout de quelques jours, chaque anémone s'est entièrement régénérée."* Un cas unique de clonage d'une espèce sur



< Cette côte de *Lufengosaurus* vieille de 195 millions d'années contient encore des fragments de collagène (en noir).

LA PLANÈTE TATOOINE EXISTE POUR DE VRAI

A 1 000 années-lumière de la Terre a été détectée une planète rocheuse évoluant dans un système à deux étoiles, comme dans *Star Wars*! Son existence a été démontrée par l'observation de débris d'astéroïdes autour des deux soleils. **G.D.**

LES REPTILES N'ONT PAS TOUJOURS PONDU

Les paléontologues ont eu la surprise de découvrir un embryon dans l'abdomen d'un fossile chinois de *Dinocephalosaurus* (un grand lézard au long cou) de 245 millions d'années! **B.C.**

LES RAPIDES FAVORISENT LA BIODIVERSITÉ

Dans le fleuve Congo, les rapides sont si puissants que des groupes de poissons *Teleogramma* se retrouvent isolés les uns des autres. Résultat: leur ADN évolue indépendamment, ce qui entraîne la formation de nouvelles espèces. **T.C.-F.**

pour se protéger

une autre! Mais quel est l'intérêt d'une telle "parure"? Selon les chercheurs, le crabe utilise sans doute les cellules urticantes de l'anémone de mer pour se protéger des prédateurs... et en profite au passage pour lui voler sa nourriture. En retour, l'anémone se sert de son hôte pour se déplacer. **O.D.**

✓ L'aérosolisation des bactéries a été filmée pour la première fois.

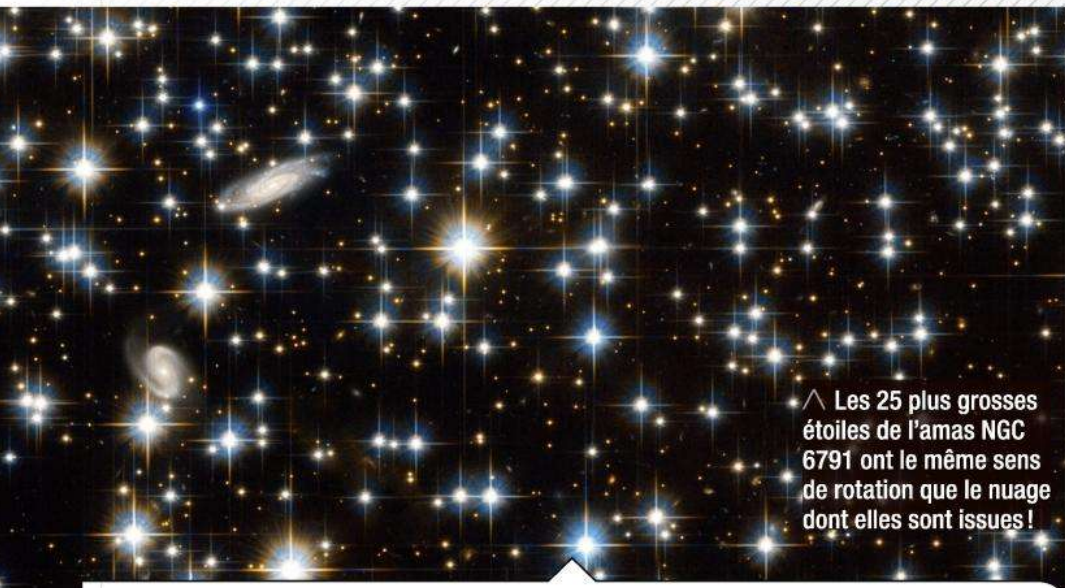


PHYSIQUE

On a vu comment une goutte de pluie projette des bactéries dans l'air

Comment les microbes s'arrachent-ils à leur milieu de vie terrestre pour se retrouver dans l'atmosphère? Une équipe américano-coréenne a filmé une goutte de pluie tombant dans une flaque: des bulles de quelques dizaines de micromètres se forment alors à la surface, et c'est leur éclatement qui provoque la dispersion de bactéries dans l'air. "Ce phénomène d'aérosolisation est impliqué dans la transmission de maladies, précise Cindy Morris, de l'Inra. On le connaissait, mais c'est la première fois qu'on en voit des images aussi belles." Une seule goutte de pluie peut transférer dans l'air 0,01 % des bactéries du sol, lesquelles survivent plus d'une heure après l'impact. Voilà pourquoi l'atmosphère est plus chargée en microbes après une averse. "Certains montent même jusqu'aux nuages", indique Cindy Morris, dont l'équipe a retrouvé des bactéries à plus de 3 500 m d'altitude. **A.D.**

ROBERT REISZ - YISRAEL SCHNYTZER ET AL. - MIT



^ Les 25 plus grosses étoiles de l'amas NGC 6791 ont le même sens de rotation que le nuage dont elles sont issues!

ASTROPHYSIQUE

DES ÉTOILES ONT GARDÉ LA MÉMOIRE D'UNE VIE ANTÉRIEURE

Regardez cette nuée d'étoiles... Les 25 plus grosses tournent dans le même sens: leurs axes de rotation sont parallèles, à 20 degrés près. Selon Enrico Corsaro et ses collègues du CEA, qui l'ont déniché grâce au télescope *Kepler*, un tel alignement a une chance sur un milliard d'être le fruit du hasard! Les chercheurs ont pu sonder l'intérieur des étoiles grâce

aux oscillations infimes de leur luminosité, et en ont déduit la direction de leur axe de rotation. Et ils ont trouvé le même alignement pour les 23 plus gros astres de l'amas voisin! "L'alignement des axes de rotation de ces étoiles serait un héritage du mouvement du nuage moléculaire à l'origine de l'amas, explique Enrico Corsaro. Ce qui est surprenant, c'est que

ces amas sont nés il y a 8 et 2 milliards d'années: il ne devrait plus y avoir de trace de cette naissance depuis longtemps!" Le chercheur attend les futurs télescopes *Tess* et *Plato* pour scruter d'autres amas de la Voie lactée. Si ce phénomène est systématique, on pourra calculer la vitesse de rotation de nuages de gaz disparus il y a des milliards d'années. **B.R.**

ÉVOLUTION

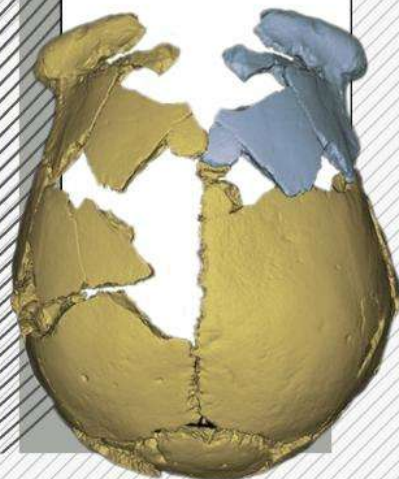
Deux crânes de Denisova ont peut-être été retrouvés

Homo sapiens, *neanderthalensis*, *floresiensis*... Il y a 100 000 ans, plusieurs espèces humaines cohabitaient sur Terre. Et voici que deux crânes découverts en Chine pourraient encore élargir l'humanité! Ils présentent en effet une combinaison inédite de caractères: ils sont très gros (environ 1 800 cm³) et possèdent des structures qui ne ressemblent ni à *Sapiens*, ni aux néandertaliens. Appartenaient-ils à l'homme de Denisova, qui vivait en Asie et dont on n'a retrouvé qu'une phalange et quelques dents? Ou témoignent-ils d'interactions plus intimes que prévu entre espèces? Il faudra attendre des études plus détaillées pour trancher. **T.C.-F.**

BOTANIQUE

C'est un bricolage génétique qui a rendu des plantes carnivores

On savait déjà que les plantes carnivores digèrent les insectes grâce à des enzymes... mais pas d'où ces dernières venaient. Des biologistes japonais et chinois ont résolu le mystère. En séquençant le génome de *Cephalotus follicularis*, une plante australienne, ils ont identifié un véritable arsenal pour piéger les insectes, dont 35 gènes impliqués dans la fabrication de sucs digestifs, sans doute bricolés à partir de protéines immunitaires. Une adaptation évolutive qui a permis aux plantes de survivre dans des milieux pauvres en nutriments, et serait intervenue indépendamment au sein de différentes lignées. **E.H.**



meilleurtaux.com

C'EST AUSSI



1 000 experts



en agence



sur le web

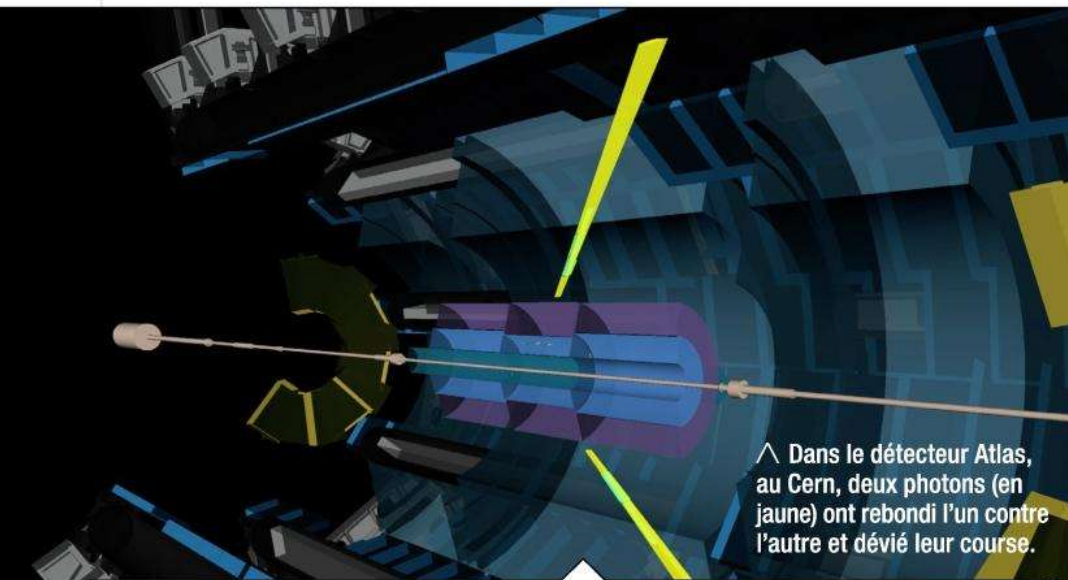


au téléphone

meilleurtaux.com

Un crédit vous engage et doit être remboursé. Vérifiez vos capacités de remboursement avant de vous engager.

Aucun versement, de quelque nature que ce soit, ne peut être exigé d'un particulier avant l'obtention d'un ou plusieurs prêts d'argent. Pour tout prêt immobilier, l'emprunteur dispose d'un délai de réflexion de 10 jours ; l'achat est subordonné à l'obtention du prêt, s'il n'est pas obtenu, le vendeur doit lui rembourser les sommes versées. Meilleurtaux, 36 rue de Saint-Petersbourg 75008 Paris, société par actions simplifiée au capital de 1 000 000 €, RCS Paris n°424 264 281, courtier en opérations de banque et services de paiement et intermédiaire en assurance ORIAS n°07 022 955 (www.orias.fr). Liste de nos partenaires consultable sur meilleurtaux.com. Sous le contrôle de l'ACPR, 61 rue Taitbout 75436 Paris Cedex 09, (www.acpr.banque-france.fr).



^ Dans le détecteur Atlas, au Cern, deux photons (en jaune) ont rebondi l'un contre l'autre et dévié leur course.

PHYSIQUE

LA LUMIÈRE PEUT REBONDIR SUR... DE LA LUMIÈRE

Une étrange prédiction de la physique quantique a été observée au LHC: de la lumière qui dévie de la lumière! Un phénomène inimaginable en physique classique, qui la considère comme une onde, et très hautement improbable en physique quantique, qui estime que ses particules sans masse, les photons, ne sont pas censées interférer... sauf en présence

d'un champ électrique extrême de plus de 10^{18} V/m². Jusqu'ici, personne n'avait réussi à confirmer cette prédiction faite par Heisenberg en 1936. Mais en fouillant dans des expériences menées au LHC sur des collisions de noyaux d'atomes de plomb, les physiciens de la collaboration Atlas ont découvert que sur 4 milliards d'impacts, treize ont généré

des gerbes de photons dans un espace confiné où le champ électrique atteignait 10^{25} V/m²... Et treize fois, ils ont constaté que deux photons avaient bel et bien rebondi l'un contre l'autre, déviant leur course! Confirmant au passage que les photons ont une taille, alors que la physique quantique les considère comme des particules sans dimensions. **B.R.**

PALÉOANTHROPOLOGIE

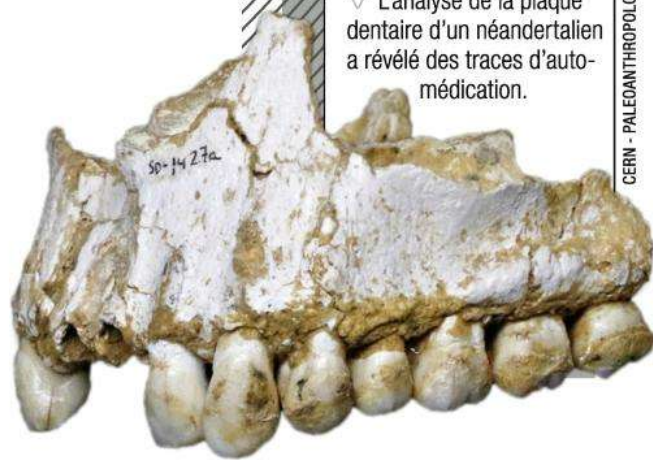
Neandertal se soignait par les plantes

L'analyse par une équipe australienne de l'ADN retrouvé sur la plaque dentaire de quatre fossiles européens d'environ 50 000 ans a révélé des traces d'auto-médication! L'un de ces néandertaliens, qui souffrait d'un abcès dentaire et d'une infection due à un champignon parasite, était en effet le seul à avoir enrichi son alimentation d'extraits de peuplier, un arbre renfermant le principe actif de l'aspirine, et d'une moisissure herbeuse contenant de la pénicilline, le premier antibiotique jamais synthétisé! Or, nous n'avons aucun indice d'une telle auto-médication chez notre espèce à la même époque... Et si Neandertal avait inventé la médecine? **T.C.-F.**

▽ L'analyse de la plaque dentaire d'un néandertalien a révélé des traces d'auto-médication.

2 heures

C'est le temps de sommeil quotidien d'un éléphant dans la nature (deux fois moins qu'en captivité)... La durée la plus courte chez un animal terrestre! Les biologistes qui ont suivi pendant 35 jours deux éléphants du parc national de Chobe (Botswana) ont aussi relevé qu'elles dormaient 90% du temps debout et pouvaient rester actives plus de 48 heures sans avoir besoin de récupérer. **A.D.**



LA FORCE NE FAIT PAS TOUT.
PARFOIS, SI.

V6 TDI



Nouvelle gamme Amarok à partir de 249 € TTC / mois* en LLD. Non assujetti à la TVS ni au malus.

Nouvelle gamme Amarok, nouveau moteur V6 3,0 I TDI jusqu'à 244 ch et jusqu'à 550 Nm de couple, transmission intégrale 4MOTION permanente, et boîte de vitesses automatique 8 rapports. Maintenant, faut-il encore avoir le courage de l'essayer.

Le nouvel Amarok. Accélérateur d'émotions.



**Véhicules
Utilitaires**

Modèle présenté : Amarok Aventura 224 ch V6 3,0 I TDI avec option peinture métallisée en Location Longue Durée sur 48 mois et 80 000 km, 1^{er}

loyer majoré 9 521 € TTC, 47 loyers de **349 € TTC**. Cycle mixte (l/100 km) : 7,8. Rejets de CO₂ (g/km) : 203-204.

*Exemple pour un Amarok DC Confortline 204 ch 4MOTION en location Longue Durée sur 80 000 km, 1^{er} loyer majoré 7400 € TTC suivi de 47 loyers de 249 € TTC. Cycle mixte (l/100 km) : 7,5-7,8. Rejets de CO₂ (g/km) : 196-204. Offre réservée aux professionnels, hors loueurs et flotte, jusqu'au 31/07/2017, dans le réseau participant, sous réserve d'acceptation du dossier par Volkswagen Bank GmbH (SARL de droit allemand - Capital 318 279 200 € - Succursale France : Bâtiment Ellipse 15 av. de la Demi-Lune 95700 Roissy en France - RCS Pontoise 451 618 904). Mandataires d'assurance et d'intermédiaire d'assurance ORIAS : 08 040 267.

Volkswagen Group France SA au capital de 7 750 000 € - 11, avenue de Boursonne Villers-Cotterêts - RCS SOISSONS B 602 025 538.

Volkswagen Véhicules Utilitaires recommande **Castrol EDGE Professional**.



◀ Ces guerrières de l'espèce *T. angustula* protègent l'entrée du nid.

ÉTHOLOGIE

LES ABEILLES AUSSI ONT LEURS SOLDATS

A défaut de posséder un dard, certaines espèces d'abeilles ont trouvé la parade pour se défendre ! Ainsi, à côté des butineuses et des puéricultrices, *Tetragnisca angustula*, une abeille brésilienne, a développé une caste de soldats. Et elle n'est pas la seule, révèlent des chercheurs brésiliens et allemands, qui ont retrouvé des combattantes chez quatre autres espèces. Ces abeilles, 10 à 30 % plus grosses que

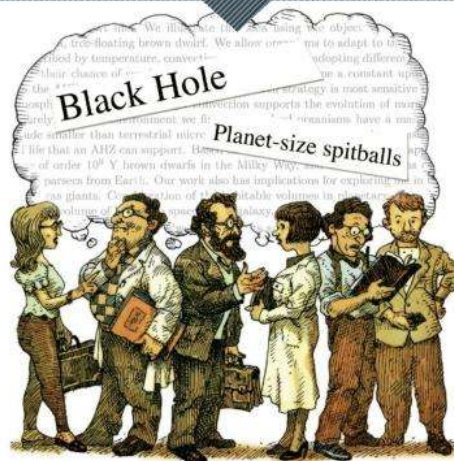
les ouvrières, gardent l'entrée du nid et utilisent leurs mandibules et leurs pattes pour se battre. La division du travail ne dépendrait donc pas seulement de l'âge des individus, mais aussi de leur morphologie. L'apparition d'abeilles voleuses de pollen serait le moteur de cette différenciation. Les espèces le plus souvent attaquées auraient même plus de chances de posséder une caste de gardes. **M.S.**

ÉPIGÉNÉTIQUE

Etre chauve... c'est surtout la faute de la mère!

Des chercheurs écossais sont capables de prédire si un homme risque de perdre ses cheveux avec l'âge, sur la base de son ADN ! Ils ont identifié 125 gènes impliqués dans la calvitie, dont 13 situés sur le chromosome X (transmis par la mère) – ce qui en fait le premier contributeur, à hauteur de 5%, de la chute des cheveux. L'un de ces 13 gènes code pour un récepteur aux androgènes (hormones mâles), confirmant l'importance des mécanismes hormonaux dans la calvitie. **E.H.**

C. GRÜTER/IGU - S. AQUINO



Notre trou noir nous bombarderait de planètes

Non content de gober les étoiles qui le frôlent d'un peu trop près, Sagittarius A*, le trou noir supermassif qui trône au centre de la Voie lactée, recracherait tout autour de lui des pépins de la taille de Jupiter ! C'est l'étonnant résultat des simulations d'Eden Girma, à Harvard. Une fois tous les 10 000 ans, une étoile passe trop près du monstre. Sa matière est alors déchirée par la gravitation et répandue en un long filament de gaz incandescent, au sein duquel se forment des sortes de planètes géantes presque exclusivement composées d'hydrogène et d'hélium. La chercheuse a simulé le devenir de ces objets : les 50 dernières étoiles ainsi détruites auraient provoqué l'expulsion de 10 860 "planètes" à des vitesses atteignant 36 millions de km/h ! Heureusement, elles n'ont aucune chance de nous percuter... La plus proche devrait passer à au moins 700 années-lumière de nous. C'est le problème : depuis la Terre, cet objet brillerait si peu qu'il serait hors d'atteinte des meilleurs télescopes. "La preuve observationnelle n'est pas pour aujourd'hui, reconnaît la chercheuse. Mais en affinant les simulations hydrodynamiques de la destruction des étoiles, on pourra montrer que ce processus existe vraiment physiquement." **B.R.**

A close-up portrait of a woman with long, wavy hair, looking directly at the camera. The image is overlaid with a semi-transparent purple filter. The text is centered over her face.

INVENTER *le futur* RÉUSSIR L'IMPOSSIBLE

Oser les différences de points de vue, écouter ses émotions, mobiliser les talents et s'accomplir dans un monde où la mutation est devenue la norme. Experte depuis plus de 140 ans dans son domaine, NEOMA Business School vous apprend à développer vos compétences pour faire de vous un leader responsable et innovant. Et si vous faisiez bouger les lignes ?

NEOMA
BUSINESS SCHOOL

#humanship
www.neoma-bs.fr

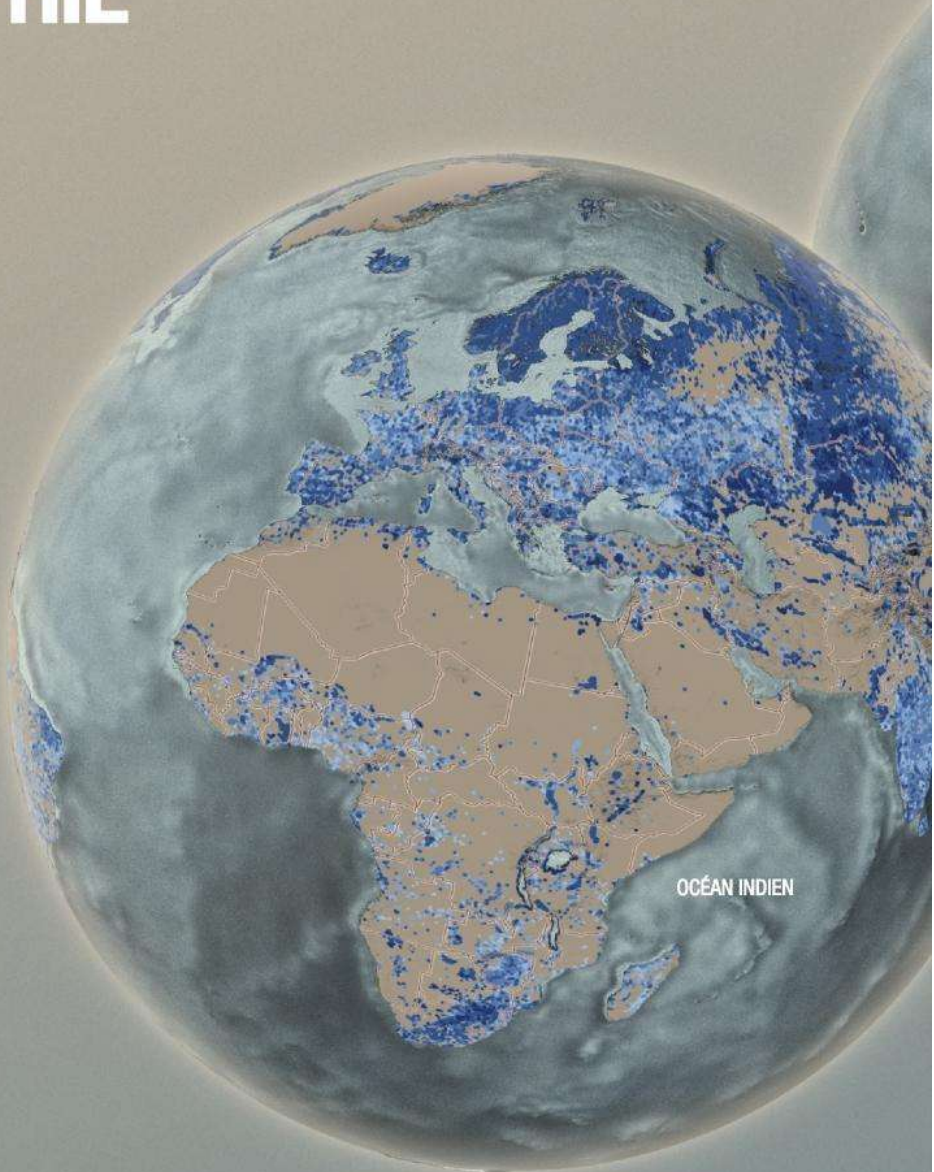


HYDROLOGIE

LE TEMPS DE RENOUVELLEMENT DES EAUX DES LACS A ÉTÉ CARTOGRAPHIÉ

Héraclite l'assure : on ne se baigne jamais deux fois dans le même fleuve. Un proverbe qui se vérifie aussi pour de nombreux lacs dans le monde, selon des chercheurs de l'université McGill, au Canada, qui ont estimé le "temps de séjour" de l'eau dans près d'un million et demi de lacs. *"C'est le temps écoulé entre le moment où l'eau s'y déverse et celui où elle s'en échappe"*, explique l'auteur principal, Mathis Messenger. Résultat : l'eau séjourne en moyenne cinq ans dans les lacs de la planète. Mais ce temps est extrêmement variable d'un lac à l'autre : de quelques heures à plusieurs siècles. Dans les lacs alimentés par des fleuves au débit très élevé, l'eau se renouvelle rapidement. Pour d'autres, l'écoulement est si faible que l'eau y stagne presque indéfiniment. Pas moins de 375 ans, par exemple, dans le lac Baïkal ! Issue de la combinaison de données spatiales et d'un modèle hydrologique global, la connaissance de ces temps de séjour permet, entre autres, d'évaluer l'accumulation de polluants dans ces étendues d'eau impliquées dans les cycles hydrologiques, et qui sont des refuges de biodiversité. *"Un pas vers une meilleure compréhension des mécanismes environnementaux complexes"*, se réjouit Mathis Messenger.

B.C.

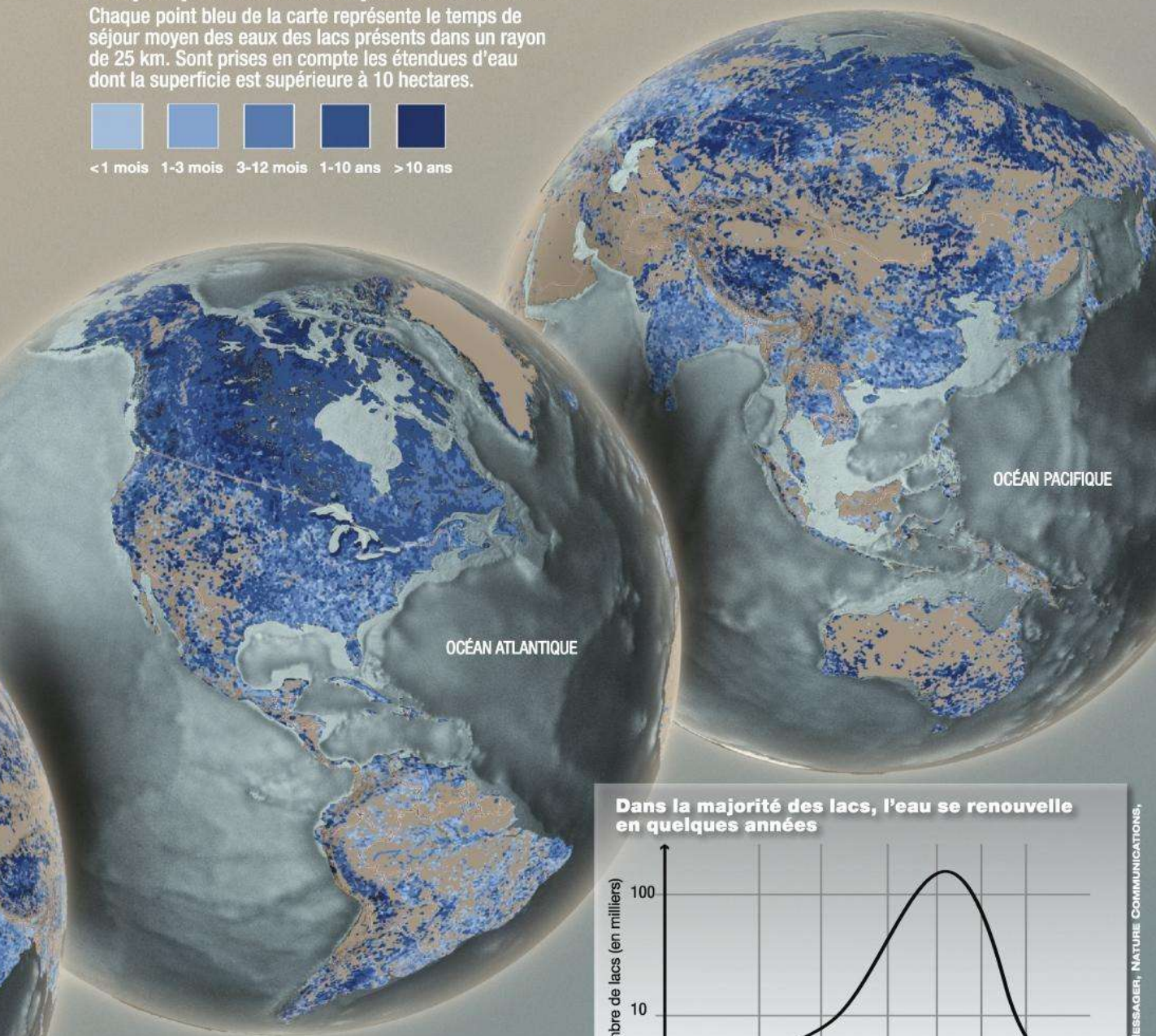


De quelques heures... à plusieurs siècles

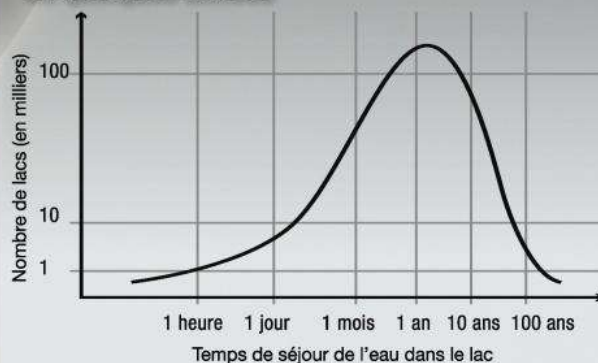
Chaque point bleu de la carte représente le temps de séjour moyen des eaux des lacs présents dans un rayon de 25 km. Sont prises en compte les étendues d'eau dont la superficie est supérieure à 10 hectares.



<1 mois 1-3 mois 3-12 mois 1-10 ans >10 ans



Dans la majorité des lacs, l'eau se renouvelle en quelques années



SOURCES : M. MESSAGER, NATURE COMMUNICATIONS, 2016.

5 ans

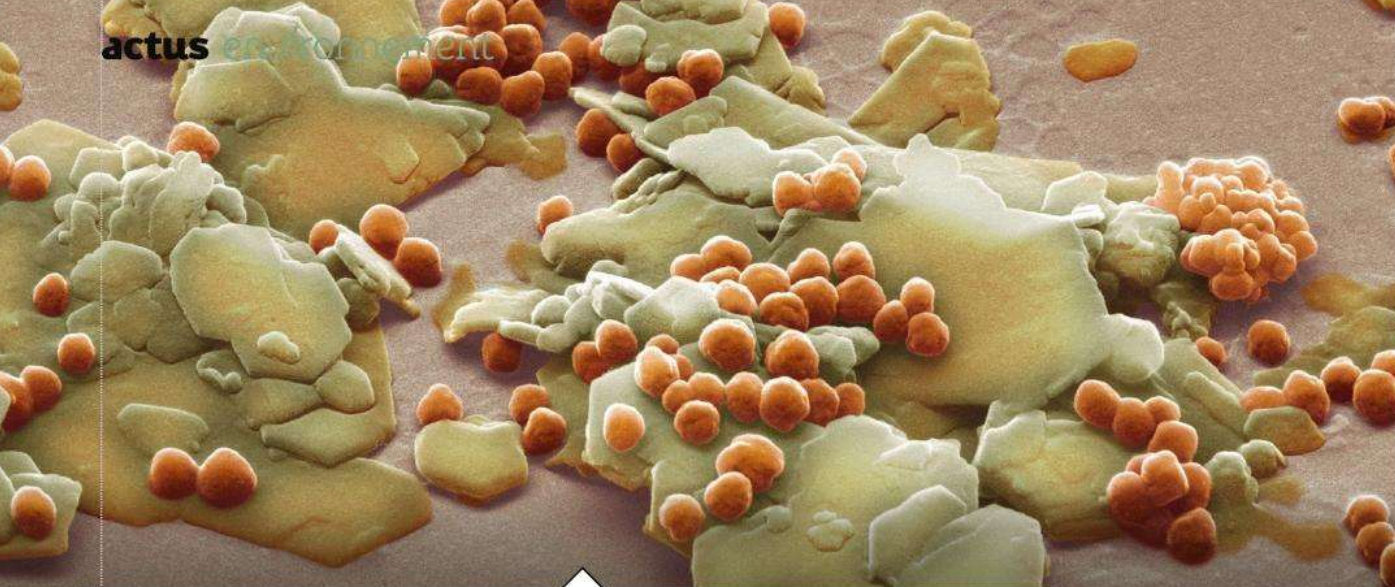
C'est le temps de séjour moyen de l'eau, calculé sur l'ensemble des lacs de la planète.

3 000

C'est le nombre de lacs dans lesquels l'eau séjourne plus de cent ans.

9 %

de la surface des lacs présents sur Terre est constituée de réservoirs artificiels.



ÉCOTOXICOLOGIE

LA POLLUTION LIÉE À L'USURE DES OBJETS ÉTAIT SOUS-ESTIMÉE

L'usure de nos pneus de voiture et de nos vêtements synthétiques équivaut à jeter un sac plastique par personne et par semaine dans l'océan ! Soit 212 g/an. C'est ce que révèle une étude de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) portant sur les microplastiques océaniques (fragments de moins de 5 mm). *"Le public croit trop souvent que ce problème se résume à une mauvaise collecte des déchets plastiques,*

indique Julien Boucher, premier auteur de l'étude. Or, ce que nous avons montré, c'est qu'une part significative de cette pollution, entre 15 % et 30 %, provient de l'usure de nos objets." La consommation annuelle de textiles synthétiques approche 600 millions de tonnes. Or un simple pull en polaire perd 4 % de sa masse dans les eaux de lavage, et donc dans le réseau fluvial. Même chose pour les 6 millions de tonnes

annuelles de gomme laissées sur les routes... Dans les pays développés, cette source de plastique océanique est même plus importante que celle due aux déchets, car ces derniers sont assez bien collectés. Un phénomène d'autant plus dangereux que la croissance mondiale ne cesse d'alimenter mécaniquement cette pollution diffuse. *"C'est la conception de nos objets qu'il va falloir repenser",* conclut Julien Boucher. **Y.S.**

△ Les microparticules produites par le frottement des objets plastiques représentent 30 % de la pollution océanique.

BIODIVERSITÉ

Les extinctions avancent les floraisons

L'effet est inattendu : la disparition d'espèces végétales au sein d'une prairie avance sa floraison ! Le phénomène a même été quantifié : sur une parcelle contenant 16 espèces, les chercheurs en ont retiré 2 et constaté que celles qui restaient fleurissaient 1,2 jour plus tôt. Il aura suffi de supprimer 12,5 % de la biodiversité pour voir des effets correspondant à une décennie de réchauffement climatique. Cette perte de biodiversité pourrait donc être une autre explication à l'avancement des floraisons observé à l'échelle de la planète. **Y.S.**

GÉOLOGIE

L'hypothèse d'un 7^e continent ressurgit

"Nous avons des preuves concrètes de son existence", annonce Julien Colot, coauteur de l'étude sur "Zelandia", ce continent immergé entre la mer de Tasmanie et le Pacifique dont l'existence est suspectée depuis les années 1990. Son épaisseur varie en effet entre 10 et 25 km, ce qui permettrait de le classer officiellement comme "croûte continentale"... De quoi surprendre alors que 94 % de sa surface se trouvent sous l'eau. *"Cette découverte va modifier notre approche de la tectonique",* avoue le chercheur. **T.L.-H.**

▽ Les seules parties émergées de Zelandia (ici en vert) sont la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Calédonie.





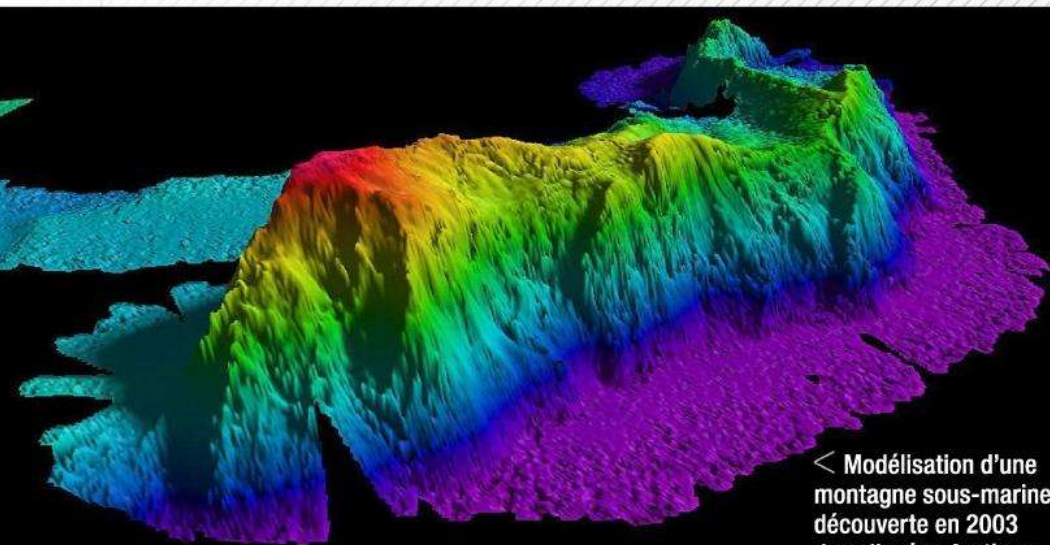
TENA MEN EXTRA LIGHT

Une protection noire et discrète pour les petites fuites urinaires

Echantillon gratuit sur tenamen.fr

Les protections TENA Men sont disponibles en grandes surfaces et en pharmacies.





< Modélisation d'une montagne sous-marine découverte en 2003 dans l'océan Arctique.

Océanographie

LES MONTAGNES SOUS-MARINES GÉNÈRENT DES VORTEX

De gigantesques tourbillons de plusieurs centaines de mètres de hauteur remontent des grands fonds... On croyait pourtant ces couches profondes isolées de l'atmosphère pour des millénaires! Car elles proviennent d'eaux de surface brutalement refroidies aux hautes latitudes, et s'étaient enfouies, par leur densité, à plusieurs milliers de

mètres de fond. *"Nous avons injecté un traceur chimique à grande profondeur près du passage de Drake, dans l'océan Austral, explique Ali Machayek au MIT. Or, une fois arrivé dans une zone de montagnes sous-marines, ce produit a gagné des couches beaucoup plus proches de la surface."* Ce sont donc les grands reliefs marins qui provoquent ces

turbulences, remettant en cause notre conception de la circulation océanique: les courants profonds remonteraient beaucoup plus vite et plus facilement que prévu, bousculant au passage nos modèles de stockage du CO₂ atmosphérique dissous dans les mers. Reste à chiffrer ces processus... ce qui devrait encore nécessiter une dizaine d'années. **Y.S.**

ÉCOLOGIE

Les carnivores favorisent la biodiversité végétale

Diplozoöendochorie. Sous ce terme barbare se cache la capacité qu'ont les carnivores à disperser les plantes. Ils rejettent en effet dans leurs excréments les graines avalées par leurs proies (oiseaux, rongeurs). Un phénomène dont des chercheurs canadiens révèlent aujourd'hui l'ampleur. Ainsi, un couguar disperse environ 5 000 graines/km². A l'heure où les habitats se fragmentent, et où les plantes doivent migrer pour s'adapter au réchauffement, les carnivores pourraient donc s'avérer de précieux alliés.

Dont la sauvegarde est en jeu, leur nombre ne cessant de diminuer.

Y.S.



> Chouettes, fouines, renards: ces carnivores "nuisibles" ont un rôle trop sous-estimé dans la dispersion des graines.

Agronomie

L'agriculture française ne perdrait rien à utiliser moins de pesticides

Alors qu'en France l'utilisation de pesticides continue de croître, une étude de l'Inra vient de démontrer que *"les agriculteurs français pourraient réduire de 30 % leurs pesticides sans perte de rentabilité"*, résume Nicolas Munier-Jolain. En suivant 948 exploitations non bio représentatives de la diversité agricole française, les agronomes ont constaté que les exploitations qui consomment moins de pesticides n'en sont pas pour autant moins rentables ou moins productives. Leur recette? La diversification: des cultures, des variétés, combinée à l'élevage... **Y.S.**



Innovation
that excites

NISSAN  INTELLIGENT MOBILITY



NOUVELLE NISSAN MICRA. COMPLICE DE TOUTES VOS AUDACES.

Innover autrement.

Modèle présenté : version spécifique. Nissan West Europe : Nissan.Fr
Consommations gamme cycle mixte (l/100km) : 3,2 - 4,6.
Émissions CO₂ (g/km) : 85 - 104. Sous réserve d'homologation.





INFECTIOLOGIE

ON SAIT ENFIN POURQUOI LA BRONCHIOLITE CIBLE LES BÉBÉS

La bronchiolite est une infection provoquée par le virus respiratoire syncytial (VRS), qui touche les nourrissons d'autant plus sévèrement qu'ils sont jeunes. Une équipe française vient d'en expliquer la particularité : un problème d'immunité. Ils ont en effet découvert des lymphocytes B spécifiques des deux premières années de vie, avec lesquels le virus interagit. Ces "nBreg", pour lymphocytes B régulateurs néonataux, "produisent une

variété limitée d'immunoglobulines qui reconnaissent de nombreux agents infectieux et ont une action anti-inflammatoire qui limite la réponse immunitaire", explique Richard Lo-Man, responsable des travaux. Or, deux protéines d'enveloppe du virus reconnaissent une molécule présente à la surface des nBreg qui permet au virus d'y pénétrer. Cette intrusion active les nBreg et déclenche une réaction anti-inflammatoire qui bloque la

réponse anti-VRS. "Ces travaux ont été confirmés en clinique : des enfants malades présentaient bien ces nBreg hébergeant le virus dans leurs voies respiratoires", précise le chercheur.

A terme, comptabiliser ces cellules pourrait aider à identifier les enfants à risque de forme sévère. Et mieux connaître l'interaction entre nBreg et virus permettra d'en développer des inhibiteurs pour limiter l'infection. **A.R.**

△ Les nourrissons possèdent des cellules spécifiques qui bloquent certaines réactions immunitaires.

GÉRONTOLOGIE

Dormir trop alerte sur le cerveau

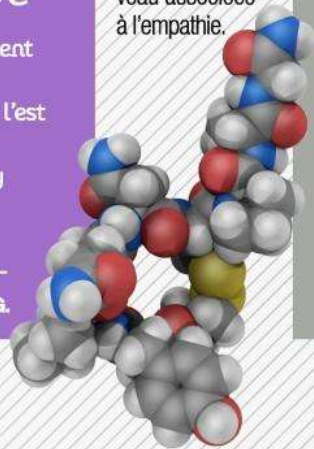
D'après des chercheurs américains, dormir de plus en plus serait le signe, chez certaines personnes âgées, d'une dégradation neurologique et d'un risque plus élevé de développer une démence. "Il s'agirait peut-être d'un mécanisme de compensation face aux plaques amyloïdes", explique Sudha Seshadri, de la Boston University, car ces plaques, qui commencent à s'accumuler plusieurs dizaines d'années avant les premiers symptômes de démence, sont dissipées plus efficacement durant le sommeil." **E.A.**

ENDOCRINOLOGIE

L'amour paternel peut être dopé

Les pères aussi souffrent de dépression post-partum. Un traitement à l'ocytocine pourrait-elle la prévenir ? Cette hormone-clé des mécanismes d'attachement, produite dans le cerveau des mères, l'est aussi dans celui des pères à l'arrivée de l'enfant. Des chercheurs américains l'ont testée sur des jeunes papas sous forme de spray nasal : l'ocytocine augmentait l'activation des noyaux caudé et accumbens, des régions cérébrales associées à l'empathie et à la motivation pour les soins parentaux. D'autres tests seront nécessaires avant de commercialiser un "spray d'amour paternel". **F.G.**

✓ L'ocytocine stimule les régions du cerveau associées à l'empathie.



DÉCOUVREZ LA NOUVELLE CROISIÈRE ORGANISÉE PAR

SCIENCE & VIE

DE LA TERRE AUX ÉTOILES



DES INVITÉS
EXCEPTIONNELS

ESCALES IBÉRIQUES

MARSEILLE • MALAGA • CADIX • LISBONNE • VALENCE • BARCELONE • SAVONE

À BORD DU COSTA MEDITERRANEA



Yvon LE MAHO
Éco-physiologiste



Christian de PERTHUIS
Économiste



Pierre LENA
Astrophysicien



Laurent BOPP
Bio chimiste



Robert VAUTARD
Climatologue



Jean JOUZEL
Glaciologue

PRIX NOBEL ET MAÎTRE DE CÉRÉMONIE



SPÉCIAL VACANCES DE LA TOUSSAINT • DU 26 OCTOBRE AU 5 NOVEMBRE 2017

**VOUS AIMEZ LA SCIENCE,
CETTE CROISIÈRE EST FAITE POUR VOUS !**

- Des conférences et tables rondes qui aborderont des thèmes passionnants comme l'astronomie, le mouvement des océans ou les phénomènes météorologiques et des ateliers pratiques amusants pour les plus jeunes !
- Une croisière idéale pour les familles avec des excursions exclusives.
- Un navire équipé pour les moments de loisirs en famille.

Juniors (à partir de 9 ans), parents, grands-parents, seul ou en couple...
VENEZ VIVRE UNE EXPÉRIENCE UNIQUE AUTOUR DE LA SCIENCE !

À partir de
1490€

11 JOURS/10 NUITS
Prix TTC par personne en cabine intérieure
Au départ de Marseille

OFFRE SPÉCIALE TOUSSAINT⁽¹⁾
Gratuité croisière enfants
pour les - de 18 ans
(sauf taxes)



Téléchargez la brochure complète sur

www.croisieres-lecteurs.com/sv

ou écrivez-nous en renvoyant le coupon ci-dessous.

INFORMATIONS & RÉSERVATIONS

01 41 33 57 01 EN PRÉCISANT SCIENCE & VIE

Du lundi au vendredi 9h30 - 12h00 et 14h00 - 18h00

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE ET VIE CROISIÈRE DE LA TERRE AUX ÉTOILES - CS90125 - 27091 Evreux Cedex 9

☐ OUI, je souhaite recevoir GRATUITEMENT et SANS ENGAGEMENT la documentation complète de cette croisière proposée par Science & Vie.

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Tél. : _____ J'Email : _____

☐ Oui, je souhaite bénéficier des offres de Science & Vie et de ses partenaires.

Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ? ☐ OUI ☐ NON

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression de ces données par simple courrier. Crédits photos : Costa Croisières, Shutterstock. Cette croisière est organisée en partenariat avec SELECTOUR Bleu Voyages (Neige et Soleil Voyages SAS). Immatriculation IM038120003 - RC Bourgoin Jallieu 8 398 629 766). Science & Vie est une publication du groupe Mondadori France, siège social : 8 rue François-Dry - 92543 Montrouge Cedex. (1) OFFRE SPÉCIALE TOUSSAINT : Gratuité Croisière enfants pour les - de 18 ans s'ils partagent la cabine de 2 adultes en cabine triple ou quadruple, hors boissons, taxes portuaires, vols, transferts et forfaits de séjours à bord.

* Seul cas de force majeure. Ce programme non contractuel est susceptible d'évoluer.

C17SV2P

AVANT

APRÈS

Les cellules ciliées, désorganisées (ci-dessus), se rangent grâce à la manipulation et transmettent le son.

GÉNÉTIQUE

UNE THÉRAPIE GÉNIQUE A RENDU L'OUÏE À DES SOURIS

Pourra-t-on un jour rendre l'ouïe à des personnes nées sourdes ? Une étape importante vers un traitement potentiel vient d'être franchie par des chercheurs américains qui ont testé une thérapie génique sur des souris : atteintes du syndrome d'Usher, une maladie génétique, elles ont pu entendre pour la première fois. Or ce syndrome est la première cause de surdité héréditaire chez l'homme ; il s'agit d'une mutation génétique qui entraîne une désorganisation des cellules ciliées de l'oreille interne.

Le but de la manipulation était donc de donner une "instruction" à

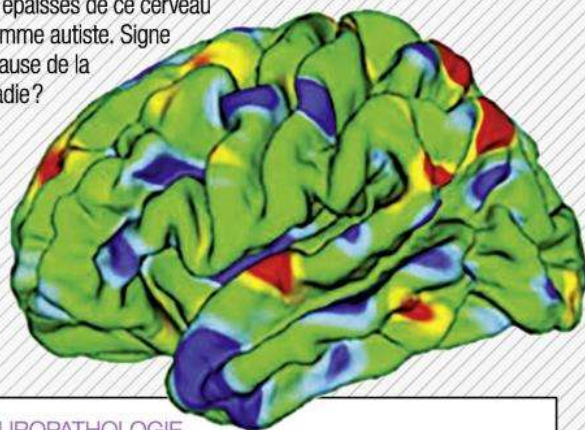
ces cellules pour qu'elles puissent correctement amplifier le signal sonore et le transformer en impulsions nerveuses à transmettre au cerveau. *"Pour la première fois, nous avons mis au point une méthode pour transférer du matériel génétique aux cellules ciliées"*, s'enthousiasme Jeffrey Holt, qui a chapeauté l'étude. Avec ses collègues, ils ont utilisé un vecteur artificiel capable, comme un virus, "d'infecter" les cellules pour leur transmettre des instructions génétiques. Pari réussi : le vecteur a délivré le gène "normal" aux cellules ciliées, qui ont alors pu transmettre le son. **M.S.**

NEUROLOGIE

La méditation régule les neurones

On savait que, dans le cerveau, après un mois de méditation, le cortex cingulaire antérieur est anormalement activé. Les neurones y sont excités de façon beaucoup plus synchronisée que chez des personnes n'ayant pas pratiqué. La baisse d'anxiété consécutive à la méditation serait-elle liée à cette activité électrique cyclique atypique ? C'est la conclusion à laquelle sont parvenus des chercheurs de l'université d'Oregon (Etats-Unis), après divers tests sur des souris. **A.R.**

> Les zones bleues sont les plus épaisses de ce cerveau d'homme autiste. Signe ou cause de la maladie ?



NEUROPATHOLOGIE

Le cerveau masculin serait davantage exposé à l'autisme

L'autisme touche quatre à cinq fois plus les hommes que les femmes. Pourquoi une telle différence ? Un consortium international de chercheurs avance une hypothèse : un lien avec l'épaisseur du cortex, la couche externe du cerveau. Ils ont pour cela corrélié des mesures de l'épaisseur du cortex (chez des autistes et chez des personnes en bonne santé) avec des statistiques sur la survenue de la maladie... Et constaté que 80 % des femmes autistes ont un cortex proche de celui des hommes. Reste maintenant à vérifier s'il y a un lien de cause à effet entre l'épaisseur du cortex et la maladie. **A.R.**

Où lirez-vous la presse quand les tablettes auront disparu ?



Sur papier, certainement, et sur d'autres supports qui n'existent pas encore.

La presse a déjà beaucoup changé. C'est même le média qui a le plus évolué.

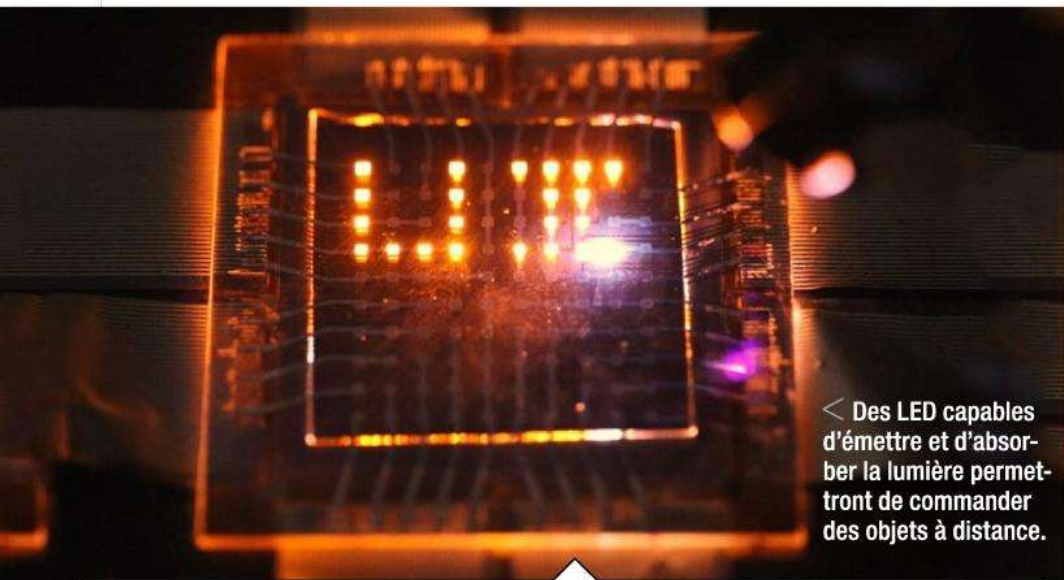
Aujourd'hui, 98 % des Français nous lisent chaque mois, sur papier, ordinateur, tablette ou smartphone*.

Demain, pour vous accompagner, nous évoluerons encore. Mais ce qui ne changera pas, c'est la qualité du travail de nos journalistes. C'est et cela restera notre cœur de métier. Et nous trouverons toujours le moyen de vous rendre accessible une information de qualité qui vous procure du plaisir.

Notre évolution ne se fera pas sans votre avis, exprimez-le sur demainlapresse.com

avec

#DemainLaPresse
DEMAINLAPRESSE.COM



◀ Des LED capables d'émettre et d'absorber la lumière permettront de commander des objets à distance.

ÉLECTRONIQUE

DES NANOCRISTAUX RENDENT LES LED SENSIBLES À LA LUMIÈRE

Des écrans de smartphones contrôlés par un simple mouvement de doigt dans l'air et qui se chargent à la lumière? C'est ce que permettraient les LED "bidirectionnelles" mises au point par des chercheurs de l'université de l'Illinois. Les nanotubes qui les composent contiennent des cristaux de 5 µm de diamètre (10000 fois plus fins qu'un cheveu) auxquels leur

taille confère des propriétés exceptionnelles, dont celle d'émettre et d'absorber la lumière. La nouveauté, c'est que ces nanotubes ont été enrobés de deux électrodes qui contrôlent les charges électroniques qui leur sont transmises, leur permettant de zapper très rapidement entre émission et réception de lumière. Ce qui donnerait, à terme, la capacité aux

écrans qui en seraient équipés de détecter l'ombre d'un doigt tout en assurant un affichage normal. Les performances de ces LED "restent moyennes, remarque pour l'instant David Vaufrey, au CEA. *Un matériau est soit bon émetteur soit bon récepteur, il ne peut exceller dans les deux. En l'état, un tel écran consommerait encore beaucoup d'énergie*". H.L.

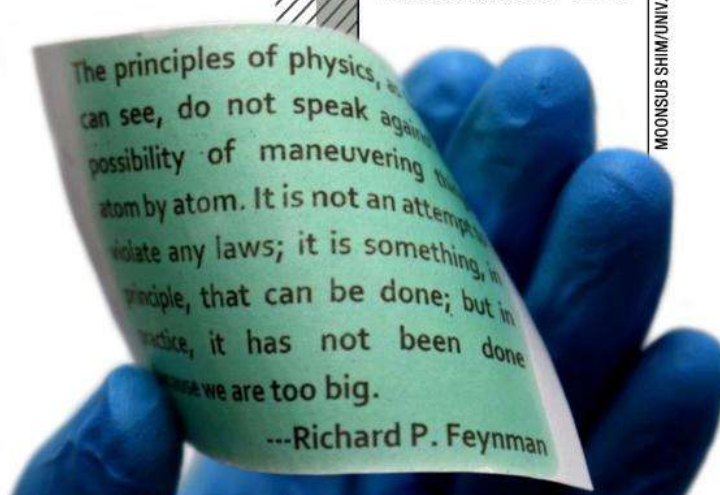
CHIMIE

Les UV inventent le papier réimprimable

Réimprimer 80 fois sur une même feuille? Ce sera possible grâce à un nouveau procédé d'impression aux ultraviolets. Le principe: recouvrir du papier classique d'un mélange de bleu de Prusse et de dioxyde de titane. Sous une lampe UV, le dioxyde de titane libère des électrons, qui sont captés par le bleu de Prusse, lequel pâlit. En jouant avec les zones éclairées, on peut donc "imprimer" le papier. Au bout de 5 jours, l'impression disparaît et le papier peut être réutilisé. On peut accélérer le processus d'effacement en chauffant 10 min la feuille à 120°C pour qu'elle redevienne bleue. Reste à élaborer une imprimante laser compatible... et à varier les couleurs. E.T.-A.

104

C'est le nombre record de satellites propulsés en même temps par le lanceur indien *PSLV-C37*! *Cartosat-2*, le plus gros d'entre eux (714 kg) a pour mission d'observer la surface terrestre. Tous les autres pèsent moins de 10 kg... Ce lancement groupé vise à démontrer l'intérêt de la technologie des "nanosatellites": leur légèreté les rend économiques et faciles à lancer en grand nombre. F.G.





Costa Rica

DU 13 AU 28 JANVIER 2018 • AU DÉPART DE PARIS

Un voyage magnifique au pays des 1000 couleurs en compagnie de notre naturaliste **Jérôme Moreau**.



*Croisières
d'exception*



À bord de
l'Azamara Quest
(seulement 344 cabines)



RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS



Connectez-vous sur www.croisiere-costarica.fr



Appelez au 01 75 77 87 48**

**OFFRE
SPÉCIALE**

500 € de réduction par personne pour toute réservation avant le 30 juin avec le code **EVASION**, soit le voyage à partir de **4790 €/pers.***



Renvoyez ce coupon complété à :

Croisières d'exception - 77 rue de Charonne - 75011 Paris *Croisières d'exception*

☐ Mme ☐ M. Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

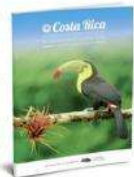
Date de naissance : Tél. :

Email : @

Vous voyagez ☐ seul(e) ☐ en couple

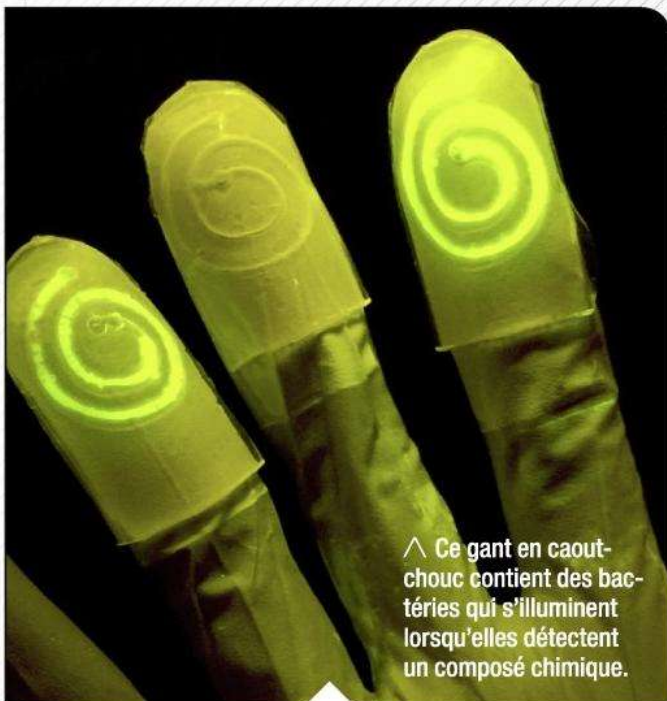
☒ Oui, je bénéficierai d'une offre spéciale (- 500 € par personne) en cas de réservation avant le 30 juin avec le code **EVASION**.

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données vous concernant.



SV-1704

Une croisière exceptionnelle
au départ de Paris sur vols directs **AIRFRANCE**



^ Ce gant en caoutchouc contient des bactéries qui s'illuminent lorsqu'elles détectent un composé chimique.

BIOMATÉRIAU

UN CAOUTCHOUC VIVANT INNOVE DANS L'ART D'ALERter

Surveiller notre état de santé ou déceler des produits toxiques dans notre environnement grâce à des patches de bactéries : c'est ce qu'ont imaginé des chercheurs du MIT (Etats-Unis). Mais pour "créer des matériaux vivants, il faut maintenir les cellules viables et fonctionnelles", explique Timothy Lu, professeur d'ingénierie biologique. Or, elles requièrent de l'humidité, des nutriments et parfois de l'oxygène". D'où l'idée de lier un hydrogel à une couche d'élastomère perméable. Le premier assure l'hydratation et la nutrition des bactéries, le second ga-

rantit la robustesse et les échanges avec l'air. Grâce à l'impression 3D, cet hydrogel est gravé de micro-canaux, dans lesquels sont encapsulées des bactéries génétiquement modifiées, qui s'illuminent en présence d'une molécule chimique. Pour tester ce caoutchouc vivant, les chercheurs ont créé des gants sur lesquels chaque doigt s'éclaire en présence d'un certain composé. Ce projet devrait intéresser la médecine légale pour identifier plus rapidement les produits présents sur les scènes de crime ; ou les organismes de surveillance de la pollution. **A.V.**

LA 5G SE DÉVOILE

L'Union internationale des télécommunications (ITU) vient de révéler les débits attendus pour la 5G : 20 Gbit/s en liaison descendante depuis les antennes-relais et 10 Gbit/s en liaison montante. La commercialisation de ce réseau est prévue pour 2020. **M.V.**

UNE PILE EN VERRE

John Goodenough, inventeur de la pile lithium-ion, vient d'en construire une variante avec des électrolytes en verre au lieu de liquides. Résultat : une batterie trois fois plus énergétique mais aussi plus sûre. **M.V.**

LA MÉMOIRE D'UN ATOME

Des chercheurs d'IBM et de l'EPFL ont réussi à écrire et lire de l'information (1 bit) sur un aimant constitué d'un seul atome d'holmium. Leur support constitue donc la plus petite mémoire qui soit. Une avancée pour la future miniaturisation des appareils à mémoire magnétique. **M.V.**

ÉNERGIE

Une capsule qui carbure à l'acide gastrique

Utilisées notamment pour les coloscopies, les capsules médicales que l'on avale, bourrées d'électronique, posent un vrai problème d'autonomie. Pour le surmonter, des chercheurs du MIT et du Brigham and Women's Hospital de Boston ont eu l'idée d'utiliser... l'acide gastrique, qui peut conduire l'électricité. Ils ont placé, dans une capsule de 4 cm de long et 12 mm de diamètre, des électrodes de zinc et de cuivre. Le zinc libère des électrons, qui sont conduits par l'acide vers le cuivre : un courant électrique se forme. De quoi alimenter, lors d'un test sur un cochon, un capteur de température et un transmetteur, qui envoient les données à un récepteur extérieur. "L'estomac offre de réelles possibilités pour abriter des systèmes d'analyse ou de délivrance de substances", atteste Giovanni Traverso, membre de l'équipe. **S.F.**

> Dotée d'électrodes, la capsule est alimentée par l'acide gastrique.



A Paris 93.5 FM



franceculture.fr/
[@Franceculture](https://twitter.com/Franceculture)

en partenariat
avec **SCIENCE&VIE**

Nous sommes
composés de
65% d'eau
et de 35% de
questions.



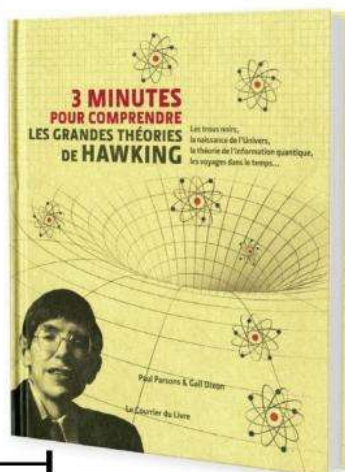
LA MÉTHODE
SCIEN-
TIFIQUE.

16H00

Nicolas
Martin



L'esprit
d'ouver-
ture.



Familiarisez-vous avec Hawking

Vous aimez observer les étoiles sans toutefois vous y connaître. L'Univers vous fascine mais le big-bang, les trous noirs, l'espace-temps et autres domaines de recherche du physicien Stephen Hawking vous semblent hermétiques. Cet ouvrage vous éclairera en 3 minutes sur la vie, les théories et l'influence du plus grand physicien et cosmologiste actuel.

3 minutes pour comprendre les grandes théories de Hawking - 18 €

AUTEURS : PAUL PARSONS ET GAIL DIXON. 160 PAGES ILLUSTRÉES COULEUR.
DIMENSIONS : 18,5 x 23,5 cm. ÉDITIONS LE COURRIER DU LIVRE.



NOUVEAU

500 pièces pour découvrir l'espace!

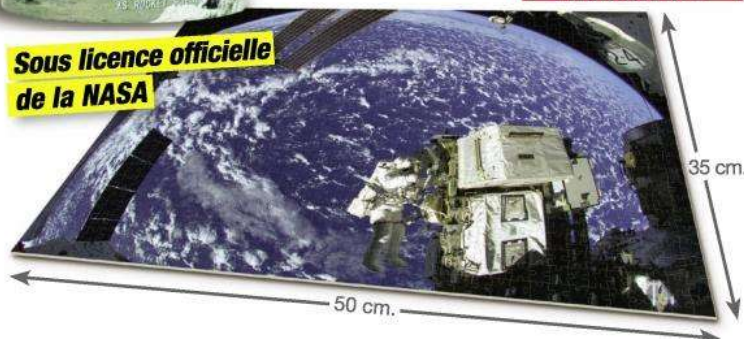
Vous êtes passionnés par l'espace et l'astronomie ? Ce puzzle représente la vue de la Terre depuis une station spatiale. Une magnifique image qui vous plongera dans l'espace. Idéal à offrir ou à s'offrir !

Puzzle NASA

500 PIÈCES. LICENCE OFFICIELLE.
DIMENSIONS DU PUZZLE : 50 x 35 cm.

LE PUZZLE
14 €₉₀
seulement

Sous licence officielle de la NASA



POUR LES ASTRONOMES...

Le télescope spécial débutant d'excellente qualité!

Avec un miroir primaire de 130 mm, ce télescope permet de débuter sérieusement grâce à sa capacité à récolter 30 % de lumière en plus qu'un télescope de base (114 mm). Il permet de voir Jupiter, Saturne, la Lune et même des objets moins brillants (galaxies / nébuleuses) !

Télescope Newton SkyWatcher 130 mm f/6.9

LONGUEUR FOCALE : 900 mm. POUVOIR DE RÉOLUTION : 0,9" MAGNITUDE LIMITE : 13,3. TUBE EN ALUMINIUM MONTURE MOTORISABLE EN OPTION. DIM. : 17 (DIAM.) x 83 cm. PORTE OCULAIRE 31,75 mm. TRÉPIED ALUMINIUM RÉGLABLE. GARANTIE 1 AN.



PAIEMENT
3x
SANS FRAIS

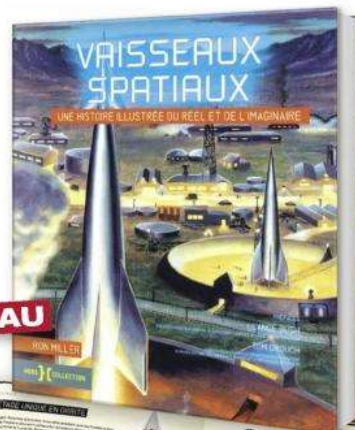
239 €

Le télescope 130 mm

OU
3x 79 €₆₆

LIVRAISON RAPIDE
CHRONOPOST OFFERTE

NOUVEAU



Une épopée fantastique!

Redécouvrez l'histoire de la navigation spatiale

Cet album retrace en images l'histoire de la navigation spatiale, depuis le ballon des frères Montgolfier jusqu'aux plans des futurs vaisseaux interstellaires, en passant par les expériences de fuséologie au XIX^e siècle et la conquête de l'espace dans les années 50 et 60... il contient plus de 800 photographies et œuvres d'art !

Vaisseaux Spatiaux - 42 €

AUTEUR : RON MILLER. 256 PAGES. DIMENSIONS : 29 x 26 cm. ÉDITIONS HORS COLLECTION.

Livres & cadeaux scientifiques et insolites

791 EOE NANTERRE - CAPITAL : 00 337 450 6

Antidouleurs codéinés

ALERTE À L'ADDICTION CACHÉE

Pour soulager la douleur, les antalgiques codéinés font aujourd'hui fureur : non seulement ils sont très efficaces, mais ils sont aussi vendus sans ordonnance. Or, le patient l'ignore souvent, ces médicaments créent une véritable dépendance "morphinique". Un état de fait inquiétant, s'alarme **Héloïse Rambert**.

"Auriez-vous quelque chose d'un peu plus fort? Le Doliprane ne me fait plus rien. J'ai vraiment mal." Ce genre de demande directe, sans passer par la prescription d'un médecin, les pharmaciens doivent y faire face quotidiennement. Et ça tombe bien : pour soulager des migraines, des douleurs rhumatismales, des rages de dents, des grosses entorses, ils ont justement

quelque chose à proposer sans ordonnance. Il leur suffit de tendre la main pour attraper une boîte de médicament qui associe le paracétamol (la molécule active du Doliprane) à de la codéine. Un nom qui peut sembler totalement inoffensif – on pense à "caféine" – mais qui est en fait un dérivé de la puissante morphine. Avec, en tête de rayon, le Codoliprane, suivi de la Prontalgine, de

la Migralgine, de l'Effergan codéiné, et de toutes sortes de génériques.

Gros succès commercial, cette grande famille d'antidouleurs occupe la troisième marche du podium des meilleures ventes de médicaments en France, juste derrière le paracétamol seul et l'ibuprofène. Sachant que le Codoliprane représente 60 % des ventes des antidouleurs codéinés. ➔

1,8 million

de boîtes de Codoliprane
vendues en 2006 en France



3,7 millions

de boîtes de Codoliprane
vendues en 2013 en France

17,8%

des personnes qui
achètent ces antidouleurs
sont devenues dépen-
dantes à la codéine.

Une explosion des ventes

Les ventes de Codoliprane (paracétamol plus codéine) ont pratiquement doublé depuis 2006. Le recours massif à cette famille d'antidouleurs (comprenant aussi l'Efferalgan codéiné, le Sédaspir...) s'explique par le retrait du marché en 2009 du Di-Antalvic.



Des ventes qui ont grimpé en flèche à partir de 2009, suite au retrait brutal du marché du Di-Antalvic, un antidouleur très consommé dont le surdosage avait provoqué plusieurs décès en Europe. Efficaces, ces antalgiques à la codéine agissent bien mieux contre la douleur que le paracétamol seul, grâce à l'action de la codéine sur le système nerveux central.

ADDICTION RAMPANTE

Mais ce que les patients ignorent le plus souvent, c'est que la molécule cache un côté sombre : le risque de dépendance en cas de prise prolongée. S'agissant d'un dérivé de la morphine, l'information ne surprendra pas les spécialistes. Mais les autres ? Tous ceux qui n'imaginent pas un seul instant qu'un médicament disponible sans ordonnance puisse être responsable d'une addiction rampante, que leur arrive-t-il ?

Les chiffres sont rares mais éloquentes. Une étude menée en 2013 auprès de 115 pharmacies sur tout le territoire français par l'équipe d'Anne Roussin (service de Pharmacologie

Les 3 effets de la codéine

Dérivée de la morphine, la codéine, en agissant sur le système nerveux central, se révèle très efficace contre la douleur. Mais elle peut aussi avoir un effet pervers sur les émotions ainsi que sur l'addiction.

Elle calme la douleur

La codéine, quand elle est absorbée, passe dans le sang, puis franchit la barrière hémato-encéphalique avant d'atteindre le cerveau. Dans le système nerveux central, elle se lie avec des récepteurs spécifiques appelés "récepteurs aux opiacés" qui modulent la réponse à la douleur. Leur "blocage" par la codéine conduit à un abaissement du ressenti de cette douleur.

clinique, Toulouse) a permis de montrer que 17,8 % des clients qui venaient à l'officine acheter ces médicaments étaient dépendants. Grâce aux 915 questionnaires auxquels ils ont répondu anonymement, il est aussi apparu que 19,5 % d'entre eux prenaient de la codéine tous les jours depuis plus de six mois.

Ces tendances préoccupantes, l'Observatoire

français des drogues et des toxicomanies (OFDT), les a aussi notées. Mais il relève un autre fait important : les personnes concernées ne correspondent pas toutes à l'idée que l'on peut se faire des "addicts". Elles sont bien loin, notamment, de l'image du toxicomane polydépendant qui recourt à la codéine faute de pouvoir acheter de l'héroïne, comme cela a pu être le cas avec le Néo-Codion, avant l'arrivée de médicaments de substitution à l'héroïne comme le Subutex. Bien différents également des jeunes gens – souvent du monde de la nuit – qui détournent encore des sirops contre la toux contenant de la codéine (voir encadré). Non, il s'agit de M. ou Mme Tout-le-Monde !

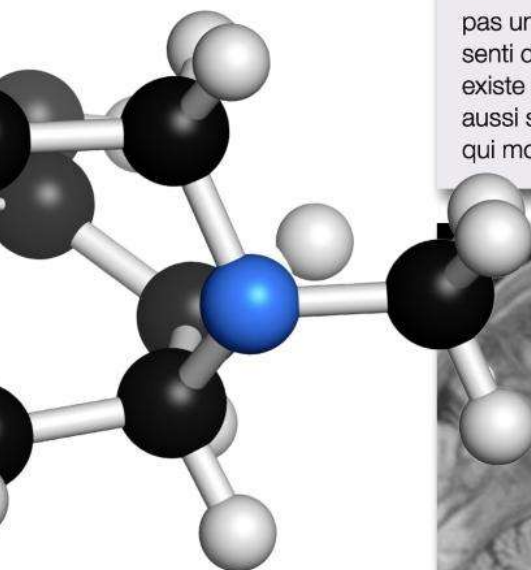
"Il existe de plus en plus

de cas de détournement des codéinés et opioïdes par des personnes a priori non-usagères de drogues. Les centres spécialisés de prise en charge voient arriver de plus en plus de patients adressés par leurs médecins qui n'ont pas du tout le profil habituel", explique Agnès Cadet-Taïrou, médecin et responsable du pôle Tendances récentes et nouvelles drogues (TREND) à l'OFDT. "Ces personnes ne répondent pas à un profil unique ; ce sont souvent des adultes de 30 à 70 ans, avec une plus grande proportion de femmes que chez les usagers de drogues. Elles diversifient les pharmacies fréquentées pour limiter leur repérage", peut-on lire dans *Tendances*, la lettre d'information de l'OFDT, datée de décembre 2016.

Etes-vous dépendant aux médicaments codéinés ?

En cas de doute, quatre questions essentielles...

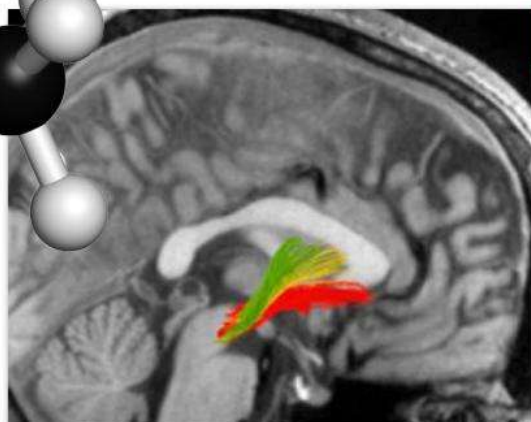
- En consommez-vous de manière répétitive ?
- Ressentez-vous la nécessité de consommer ces médicaments de manière irrésistible, impérieuse ?
- Au fur et à mesure de votre consommation, avez-vous constaté que vous aviez augmenté progressivement les doses pour obtenir les mêmes effets ?
- Vous êtes-vous déjà senti mal après avoir arrêté ?



Elle modifie l'humeur

Les récepteurs aux opiacés ne sont pas uniquement impliqués dans le ressenti de l'intensité de la douleur. Il en existe de différents types et ils peuvent aussi se lier à des neurotransmetteurs qui modulent la réponse au stress et

au contrôle des émotions. Certains récepteurs, quand ils sont activés par les opioïdes, produisent des effets euphorisants, alors que d'autres, au contraire, entraînent des troubles de l'humeur.



Elle rend accro

La stimulation des récepteurs provoque une activation des neurones dopaminergiques. Ils sont impliqués dans le circuit du plaisir et de la récompense (en couleur ci-contre), central dans le processus d'addiction. L'arrêt brutal de cette stimulation provoque des symptômes physiques qui poussent à reprendre la molécule.

Cette réalité, l'addictologue William Lowenstein la connaît bien : *"Les médicaments codéinés, certains patients s'y accrochent. Au début, ils ont moins mal et ils trouvent que leur quotidien s'améliore."* Car la codéine agit non seulement sur le corps mais aussi sur l'esprit et les émotions.

SANS RAISON MÉDICALE

Les effets psychoactifs peuvent alors prendre le pas et c'est une toute autre partition qui se joue. *"Les opiacés apaisent, modifient l'humeur et facilitent la relation à l'autre. Résultat, nous voyons des patients qui prennent de l'Effergan codéiné depuis des années, alors qu'il n'y a plus de sensation de douleur qui le justifie"*, continue l'addictologue.

Mais pourquoi n'ont-ils pas arrêté d'en prendre lorsque les douleurs ont disparu ? A cause d'un paradoxe : arrêter cet antidouleur peut s'avérer physiquement douloureux. Courbatures, migraines... La douleur ressentie au moment du sevrage provoque l'incompréhension : *"Si j'ai mal sans mon médicament, c'est qu'il est efficace ; alors pourquoi s'en passer?"*

Le malentendu s'installe... et le patient bascule de plus en plus dans l'addiction sans même s'en être rendu compte au début.

A chaque tentative d'arrêt, le cercle vicieux s'enclenche. *"Le manque physique, intense et très pénible, conduit au 'craving', c'est-à-dire à une envie impérieuse et irraisonnable de reprendre le médicament"*, poursuit le docteur Lowen-

stein. La perte de contrôle est totale quand "vouloir" arrêter n'est plus "pouvoir", quand "savoir" qu'il faudrait arrêter n'aide pas plus à "pouvoir" arrêter ! La liberté de consommation est alors perdue et l'addiction installée.

Difficile de déterminer une dose (les produits en libre accès ne contiennent pas plus de 30 mg de codéine, contre 50 mg dans



AGNÈS CADET-TAÏROU

Médecin, responsable du pôle Tendances récentes et nouvelles drogues (TREND) à l'OFDT

Le nombre de cas de détournement des codéinés par des non-usagers de drogues augmente

certaines formes sur ordonnance) ou un temps d'exposition critique avant un éventuel basculement dans l'addiction : un mois, deux, plus de cinq ? Le métabolisme de chacun est déterminant. Pour Joëlle Micallef, professeur de pharmacologie à Marseille et responsable du Centre d'addictovigilance Paca-Corse, nous ne sommes pas tous égaux face à la codéine. *"Certains vont développer une appétence*

l'équation devient redoutable lorsque les ventes ne cessent d'augmenter : car plus la codéine se diffuse dans la population, plus le risque d'une rencontre entre les personnes susceptibles et la substance augmente !

Surtout qu'avant de se retrouver dans la position du demandeur, beaucoup de malades n'avaient rien demandé du tout. *"Pour développer une dépendance ou un mésusage, il faut d'abord être exposé à*

"Il s'agit en premier lieu de personnes devenues dépendantes à la suite d'un traitement antalgique mené à des doses thérapeutiques, pour des pathologies douloureuses chroniques, ou d'une intervention chirurgicale", précise Agnès Cadet-Taïrou. Pourtant, les médecins français n'ont pas toujours eu l'ordonnancier aussi leste. *"Pendant longtemps, jusque dans les années 1990, la France a été un pays morphinophobe",* se souvient Joëlle Micallef. Et puis, en 2009, le retrait du marché du Di-Antalvic (dextropropoxyphène + paracétamol) a redistribué les cartes. *"Mécaniquement, il y a eu un report sur les autres molécules antalgiques dites de palier 2, dont les codéinés. Le nombre de prescriptions de ces molécules, très addictogènes, a énormément augmenté."*

TROP VITE BANALISÉS

Un changement de stratégie qui s'est fait, d'après William Lowenstein, avec trop de légèreté. *"Les opioïdes 'faibles' ont été manipulés avec l'idée fausse que ce n'était pas des morphiniques. Ils ont été banalisés",* déplore-t-il. Alors que la morphine est classée comme stupéfiant et prescrite sur ordonnance sécurisée, les opioïdes de palier 2 ne font pas l'objet de contrainte ni de surveillance particulières.

Si notre enquête montre sans détour que le phénomène est préoccupant en France, il reste sans commune mesure avec la situa-

tion observée ces dernières années aux États-Unis, qui relève d'une véritable catastrophe sanitaire. Selon des chiffres officiels, 1,9 million d'Américains sont aujourd'hui dépendants aux traitements antidouleur. Les patients se tournent régulièrement vers l'héroïne, réputée moins chère et plus facile à se procurer : quatre consommateurs d'héroïne sur cinq seraient devenus dépendants après avoir pris ces traitements !

L'industrie pharmaceutique est montrée du doigt. *"Des arguments marketing agressifs ont conduit à un véritable déversement de dérivés codéinés puissants. Ce qui n'est pas le cas dans notre pays",* tempère le docteur Lowenstein. Le Congrès américain, parallèlement à un coûteux plan de lutte contre les dépendances, a dû rappeler aux médecins que le paracétamol et l'ibuprofène restaient les molécules de référence contre la douleur.

En France, encore une fois, nous n'en sommes pas au même point. Mais si les autorités sanitaires ne tentent rien pour juguler les risques, qui le fera ? Contactées, l'Agence du médicament (ANSM) et la Haute autorité de santé (HAS) se renvoient la balle. Personne ne prévoit de lancer de plan de prévention d'envergure nationale ! Ni de garantir que le risque d'addiction soit systématiquement souligné dans les cabinets des médecins et dans les pharmacies.

Attention au détournement des sirops !

En 2016, l'Agence du médicament française lançait l'alerte. L'usage d'une nouvelle drogue appelée "purple drank" se répandait à grande vitesse dans les milieux festifs. Un mélange de sirop contre la toux à base de codéine avec des antihistaminiques et un soda, et qui doit son nom à la couleur violette de ces sirops outre-Atlantique. En France, les premiers cas ont été signalés en 2013 et les pharmaciens se sont vite aperçus d'une augmentation de la demande par des populations atypiques – adolescents, très jeunes adultes. Aussi le mésusage a été mieux contrôlé. Mais c'est plus compliqué lorsque le consommateur ressemble à M. ou Mme Tout-le-monde.

pour la molécule. Non seulement ils se sentent soulagés, mais ils se sentent bien aussi. Cette notion de bien-être sous codéine, fondamentale, peut faire le lit, sous prétexte de la douleur, d'une demande de prise renouvelée. Les médecins doivent y être particulièrement attentifs."

Tout le monde, heureusement, n'a pas le profil métabolique d'un futur dépendant à la codéine. Mais

un produit", rappelle Joëlle Micallef. La douleur est fréquente et l'accès aux comprimés de codéine facile. Il existe, bien sûr, des cas d'automédication à l'origine directe de dépendance à ces substances. Mais l'histoire commence souvent dans le cabinet du médecin, qui pense utile de faire appel à un médicament un peu plus costaud que le paracétamol ou un quelconque anti-inflammatoire.

SCIENCE & VIE

Vous avez beaucoup à nous apprendre !

Vous lisez *Science & Vie* et vous souhaitez nous faire partager vos idées, vos opinions ou commentaires ?

DEVENEZ LECTEUR CONSEIL



Inscrivez-vous dès à présent sur www.science-et-vie.com/enquetes-lecteurs
Nous ne manquerons pas de vous solliciter et de vous questionner sur les thèmes que vous aimeriez lire, sur des choix de couvertures et bien plus encore.

Merci d'avance pour votre participation !



A photograph of an astronaut in a white spacesuit with blue gloves, floating in space against a dark background. The astronaut's hands are visible, holding onto a small object.

VIVRE DANS L'ESPACE PAS SI SIMPLE...

À LA
UNE

Ce n'est plus de la science-fiction : un jour, c'est sûr, l'homme ira sur Mars. Pour la Nasa et les entreprises privées qui se sont lancées dans la course, c'est une question d'années. Mais c'est oublier que l'espace est un milieu hostile. Vieillesse accélérée, atrophie musculaire, lésions de l'ADN... Sous l'effet de l'apesanteur et des rayons cosmiques, le corps humain se dégrade, et vite ! Sans compter le stress d'être si loin de tout, pendant si longtemps... La prise de conscience est récente. Elle est cruciale. Au moment où le grand rêve semble enfin à portée de main, voici que le principal défi se révèle être le rêveur lui-même.

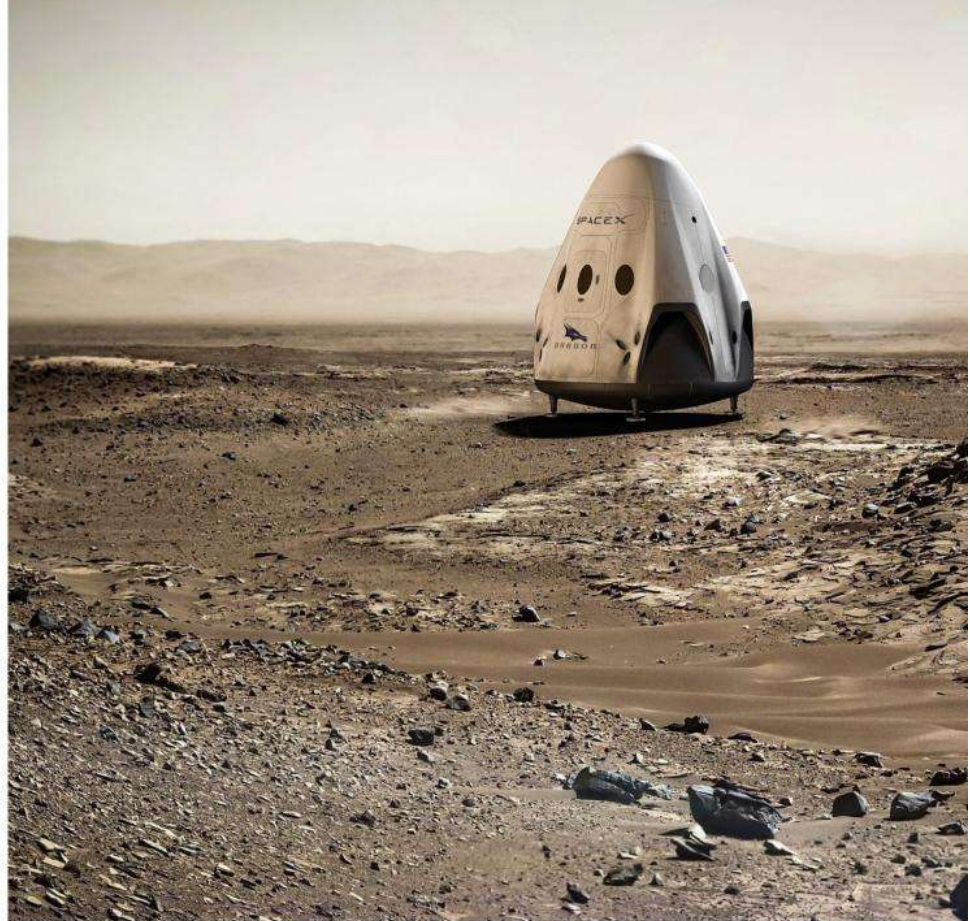
PAR ALEXANDRA PIHEN

Quand vous arriverez sur Mars après des mois de voyage dans l'espace et que votre logement sera prêt à vous accueillir, la journée sera belle !”

Kevin Kempton est responsable d'un projet de dôme de glace destiné à abriter des humains sur la planète rouge. Et la candeur de ce scientifique du Centre de recherche Langley de la Nasa est à l'unisson de l'engouement populaire que connaît aujourd'hui notre planète pour sa voisine.

L'intérêt suscité par ce petit point lumineux perdu dans le ciel, que seule la couleur orangée permet parfois de distinguer parmi les étoiles, est bien plus que scientifique – la quête de traces de vie passée, voire présente, est bien sûr fascinante, mais pour la mener il serait beaucoup plus simple de n'envoyer que des robots.

Dans toutes les têtes, presque inconsciemment, l'idée s'est peu à peu imposée ces dernières années : un jour, l'homme quittera la Terre pour aller vivre ailleurs dans l'espace. Un jour, il colonisera d'autres mondes. Ce n'est plus qu'une question de temps. Ce qui semblait de la pure science-fiction il y a vingt ou trente ans est devenu une espèce de certitude collective. Interrogez les jeunes générations : elles sont sûres d'assister de leur vivant aux premiers voyages interplanétaires. Cinquante ans après le premier homme sur la Lune, un déclic psychologique a eu lieu, qui a transformé l'utopie futuriste en défi à relever. Hollywood



en témoigne, avec la sortie en 2015 de *Seul sur Mars*, qui n'avait rien d'un film de science-fiction, mais s'apparentait plutôt à une "répétition" de la future implantation martienne.

UN VIEUX RÊVE DÉPOUSSIÉRÉ

De fait, la cible prioritaire reste bien la planète rouge. Mars semble être la nouvelle frontière de notre espèce. La prochaine étape de la conquête spatiale, la destination touristique du futur, le plan B sur lequel certains

envisagent de voir l'humanité se relier si la Terre devenait trop hostile.

Signe qui ne trompe pas : 200 000 personnes ont répondu à l'appel du projet de colonisation Mars One, pourtant sans retour, lancé en 2012 par l'ingénieur néerlandais Bas Lansdorp ! *"C'est l'histoire de l'humanité. Nos ancêtres qui se sont retrouvés face à la mer ont voulu aller de l'autre côté. Nous aurons toujours envie d'aller voir ce qui se passe ailleurs, c'est dans nos gènes"*, abonde Sébastien Barde, responsable du Centre d'aide au développement des activités en micropesanteur et des opérations spatiales au Centre national d'études spatiales (CNES).

Il faut dire que le vieux rêve a été dépoussiéré. Si, dans les années 1950, le projet porté par l'ingénieur allemand von Braun d'envoyer 70 personnes et 37 000 tonnes de charge utile vers Mars n'était qu'une lubie, il ne semble plus aujourd'hui hors de portée. Parmi les dizaines de scénarios de vol habité vers la planète rouge élaborés depuis presque soixante-dix ans, en particulier par les Russes et les Américains,

SpaceX projette d'envoyer deux touristes autour de la Lune dès 2018 !

Elon Musk, le patron de SpaceX, l'a affirmé fin février : dans un an seulement, deux touristes feront le tour de la Lune à bord de la capsule *Dragon*. Ce vaisseau, tout comme la fusée *Falcon* qui devra le propulser hors de la Terre, doit être testé à la fin de l'année. Et ce, alors que la Nasa prévoit justement d'envoyer des hommes autour de la Lune en... 2019, après des tests sur sa fusée *Space Launch System* et sa capsule *Orion* l'an prochain. Même si l'on peut douter que ces délais soient tenus, la course vers la Lune est bel et bien lancée.

OBJECTIF MARS: DES PROJETS TOUS AZIMUTS

Depuis que l'homme est allé sur la Lune en 1969, une mission habitée vers la planète rouge est devenue le nouvel objectif prioritaire de la Nasa... Aujourd'hui, la concurrence d'entreprises privées relance la course.

SpaceX prévoit un premier vol dès 2024

Le plan d'attaque d'Elon Musk, patron de cette entreprise créée spécifiquement pour aller sur Mars : premier test d'un vaisseau interplanétaire en 2022, suivi deux ans plus tard d'un vol habité.

le tri a été fait. Et les technologies ont été inventées, certaines même testées.

"Nous envoyons des sondes à la surface de Mars depuis quarante ans. Nous avons les technologies nécessaires à la mise en place d'une telle expédition", assure Pascal Lee. Un tel avis n'est pas surprenant venant du cofondateur du Mars Institute, ONG partenaire de la Nasa pour les solutions d'exploration. Avec son livre *Mission : Mars*, à destination des enfants, l'astronome prépare d'ailleurs la génération des futurs Martiens à ces nouvelles perspectives. Mais il n'est pas isolé : la majorité des spécialistes en astronautique va dans le même sens.

Attention, il ne s'agit pas de minimiser les défis technologiques qui restent à relever, qu'il s'agisse des plans d'un vaisseau interplanétaire comme des moyens d'atterrir, de manger, de respirer sur une autre planète que la nôtre. *"Pour la Nasa, l'objectif à long terme est d'envoyer un homme sur Mars, aucun doute là-dessus. Mais il est clair aussi qu'il ne suffira pas d'un discours à la Kennedy [qui promettait en 1961*

Mars One est prêt pour un départ en 2031

Le projet de voyage sans retour vers Mars lancé par l'ingénieur néerlandais Bas Lansdorp se concrétise : la sélection des futurs colons doit avoir lieu cette année et leur entraînement débuter l'année prochaine.

qu'un Américain marcherait sur la Lune avant la fin de la décennie], prévient Francis Rocard, responsable du programme d'exploration du système solaire au CNES. *Il faudra prévoir des étapes intermédiaires, qui pourront être une mission astéroïdale, puis lunaire et enfin en orbite martienne, afin d'acquérir les technologies, de fabriquer les véhicules lourds, chacun coûtant 40 ou 50 milliards de dollars..."*

La Nasa vise les années 2030

Les essais de la fusée *Space Launch System* (image) et de la capsule *Orion*, développées par l'agence américaine, ont déjà débuté.



Reste que le mouvement est lancé. La Nasa s'attelle au développement de la fusée *Space Launch System* (SLS), un lanceur superlourd de 100 m de hauteur capable de positionner 130 t de charge utile sur orbite basse, qui devrait être opérationnel dès 2021. En parallèle, les agences européenne et américaine développent conjointement le vaisseau *Orion*, qui devra mener un équipage de ➔

LES DÉFIS TECHNIQUES SONT PRESQUE RELEVÉS

Voyager et vivre dans l'espace n'a plus rien d'un rêve inaccessible : des sondes se posent sur Mars depuis 40 ans, l'ISS est habitée depuis 17 ans... Et des solutions sont à l'étude pour résoudre les principales difficultés techniques d'une mission interplanétaire.



Atteindre d'autres planètes

Lanceurs et vaisseaux sont en développement (ici un simulateur de la capsule *Orion*). Ils seront propulsés par des moteurs classiques (oxygène-hydrogène liquide ou méthane).

→ quatre personnes de cette orbite basse jusqu'à Mars. Un premier prototype a d'ores et déjà démontré ses capacités d'amerrissage au cœur du Pacifique en décembre 2014, après une rentrée atmosphérique à une vitesse comparable à celle d'un retour de la planète rouge.

La Nasa voit les choses en grand. Selon son scénario d'accostage martien, sept gros lanceurs seront nécessaires pour préparer le voyage depuis une orbite basse autour de la Terre. Quatre d'entre eux seraient envoyés en amont pour la mise en place robotisée d'une infrastructure jouant le rôle d'usine. Les deux suivants permettraient d'y assembler les pièces du vaisseau nécessaire au transport des astronautes. Enfin, le dernier conduirait l'équipage vers ce véhicule spatial, pour un lancement vers Mars. Durée du voyage : six mois pour l'aller, cinq cents jours sur place, puis six mois pour le retour sur Terre.

Surtout, la course à l'espace s'accélère avec l'arrivée de nouveaux acteurs privés. A l'image de Blue Origin, société créée en 2000 par Jeff Bezos, le fondateur d'Amazon, et de SpaceX, compagnie lancée en 2002 par le milliardaire Elon Musk, qui développent respectivement les lanceurs lourds *New Glenn* et *Falcon Heavy*, avec pour objectif la démocratisation du tourisme spatial. SpaceX mise même sur un scénario encore plus ambitieux que celui de la Nasa : un vaisseau interplanétaire qui serait capable de transporter au moins 12 (et jusqu'à 100 !) astronautes sur Mars, avec 200 t de fret (soit 10 fois plus que la mission de l'agence américaine).

Même les observateurs les plus critiques ont revu leur position. Il faut prendre Blue Origin et SpaceX au sérieux. Malgré leurs déboires, les deux sociétés ont réussi l'exploit de récupérer le premier étage de leurs lanceurs après utilisation, inspirant une



Respirer dans l'espace

La Nasa travaille sur de nouvelles combinaisons. Plus légères que celles portées par les membres d'Apollo sur la Lune (65 kg au lieu de 91 kg), elles accorderont aux astronautes une plus grande autonomie.

nouvelle génération de fusées réutilisables, avec des économies potentielles sans précédent dans le monde du spatial. Et si la plupart des spécialistes mettent en doute la crédibilité du calendrier annoncé – Elon Musk prévoit une mission habitée vers Mars en 2024, et a même annoncé fin février l'envol de touristes spatiaux vers la Lune pour... l'an prochain (voir encadré p. 48) –, ils observent que ces entrepreneurs ont lancé une dynamique.

La concurrence entre public et privé électrise le domaine, incitant la Nasa à relancer des projets jusqu'ici laissés de côté, à initier des partenariats, bref, à aller plus vite. "L'agence américaine s'apprêtait à annoncer qu'elle allait



Atterrir sur Mars

Les ingénieurs planchent encore dessus : pour atterrir sur une planète à l'atmosphère si ténue, il faudra freiner avec un bouclier thermique (à l'étude à la Nasa, en photo) et utiliser une rétropropulsion (SpaceX).

Boire

Emporter 2,5 litres d'eau par jour et par personne est impossible. Mais l'eau et la vapeur peuvent être recyclées ; à bord de l'ISS, ce procédé est efficace à 95 %. Et sur Mars, l'eau pourrait être fabriquée à partir de l'atmosphère.



Se nourrir

Plantations sous serre dans les conditions martiennes ou en aquaponie à bord de l'ISS... Il est possible de faire pousser des légumes dans l'espace !

Revenir sur Terre

Un vaisseau de remontée en orbite, nommé MAV, est à l'étude à la Nasa : il doit pouvoir ramener un équipage et des échantillons de roche après un séjour sur Mars. Il fabriquerait son carburant (oxygène et méthane) à partir de l'atmosphère martienne.

À LA UNE

pouvoir refaire un tour sur la Lune d'ici un an ou deux grâce à sa capsule Orion. Et voici qu'Elon Musk lui coupe l'herbe sous le pied en déclarant qu'il y emmènera deux touristes dès 2018. Ça pimente la course !” se réjouit Pascal Lee.

Au point que la question n'est plus tellement de savoir si nous irons là-haut... mais quand. “Les missions habitées bien au-delà de l'orbite terrestre seront régulières dès le milieu de la prochaine décennie”, avance François Spiero, responsable des vols habités au CNES.

LE PROBLÈME... C'EST L'HOMME

Et au-delà ? “Le calendrier idéal serait que nous y soyons déjà, plaisante Pascal Lee. Le calendrier réaliste est de continuer sur cette lancée. La Nasa travaille maintenant sur l'habitat martien. Peu à peu, des éléments clés sont mis au point. A ce rythme, on pourra être en orbite autour de Mars dans les

années 2030, et à sa surface en 2040. C'est une affaire de volonté politique et de coopération internationale.”

De fait, les défis liés à un tel voyage sont en train d'être relevés. On sait comment nourrir les astronautes avec des cultures spatiales ; on travaille la délicate phase de l'atterrissage sur cette planète à l'atmosphère si ténue ; on apprend à recycler l'eau, l'oxygène (voir modules ci-dessus)...

Tout semble donc prêt, à plus ou moins court terme, pour que l'humanité fasse le grand saut. Tout ? Contre toute attente, ce beau scénario vient de révéler une faille qui s'appelle... l'homme, et sa si grande fragilité. Pour le dire autrement, le problème du rêve semble être le rêveur lui-même.

Car en même temps que débutent les grands travaux, les expériences de simulation menées sur Terre, à l'image de Mars 500, tout comme les tests conduits à bord de la Station spatiale internationale (ISS), commencent à

parler. Et les spécialistes font la grimace : dans l'espace, l'homme s'abîme physiquement et psychiquement bien plus qu'ils ne l'avaient anticipé. Elon Musk ne s'est pas posé la question de l'irradiation des astronautes, de leur perte osseuse, de la dégradation de leur vue ou du ralentissement de leurs capacités cognitives... ni de leur équilibre psychologique.

Les premiers conquérants seront-ils simplement capables de tenir debout après six à huit mois de voyage en microgravité ? Comment réagiront-ils une fois confinés dans leur bulle, isolés, bombardés de rayons cosmiques, entourés d'un désert sans fin, exposés à des minitornades... ?

Au dernier moment, voici qu'aller dans l'espace s'annonce plus difficile que prévu. A l'arrivée des voyageurs sur Mars, la base sera prête et le soleil brillera sur le sol orangé... Mais la journée sera-t-elle belle ? Rien de moins certain.

LÀ-HAUT, TOUT EST DIFFÉRENT...

Les températures sont extrêmes

Il fait froid dans l'espace, jusqu'à -270°C . Mais entre l'ombre et la lumière, les écarts thermiques peuvent atteindre 200°C ! Des variations tout aussi spectaculaires sur les planètes: il fait entre -180°C et 100°C sur la Lune, et entre -140°C et 30°C sur Mars.

Les jours et les nuits se détraquent

Sur Mars, le jour compte 24 heures et 39 minutes, et l'année 687 jours; le jour lunaire dure, lui, 28 jours terrestres... Et dans l'espace, il n'y a pas d'alternance jour/nuit, seulement des zones d'ombre et de lumière créées par le Soleil.

Les reliefs sont démesurés

Sur la Lune, le cratère du bassin Pôle Sud-Aitken est profond de 13 km, pour 2500 km de diamètre... La planète rouge n'est pas en reste: l'Olympus Mons y culmine à 21 229 m, tandis que le canyon Valles Marineris, profond de 10 km, s'y étend sur près de 4000 km!

Tout n'est que poussière

Sans eau liquide, pas de vie! Ni terre ni végétaux: les déserts sont la norme et la poussière domine, recouvrant entièrement les surfaces de la Lune et de Mars et s'insinuant partout.

Les ressources sont variées

D'une planète à l'autre, la composition du sol diffère du tout au tout. L'oxyde de fer, omniprésent sur Mars, lui donne sa couleur rouge; les coulées basaltiques ont façonné la surface de Vénus; citons aussi les satellites de glace, les lacs d'hydrocarbures de Titan (satellite de Saturne), les astéroïdes de fer et de nickel...

A full-page background image of an astronaut in a white spacesuit standing on the reddish, cratered surface of Mars. The astronaut's helmet visor reflects the bright sunlight. The sky is a deep, dark blue with visible stars and a faint nebula in the upper right corner.

La lumière est aveuglante

Sans le filtre de l'atmosphère terrestre, la lumière du Soleil, d'un blanc parfait, est en moyenne quatre fois plus intense et truffée de particules chargées.

Les sons sont distordus

Le silence est complet dans l'espace comme sur la Lune : sans air, le son ne peut se propager. Et au sein des atmosphères planétaires, il se déforme : celle de Mars, peu dense, le ralentit et l'atténue.

L'air est irrespirable

Dans l'espace interplanétaire, il n'y a rien à respirer ! À peine quelques particules... Et si Mars a une atmosphère, elle est 100 fois moins dense que celle de la Terre, et composée à 95 % de dioxyde de carbone.

Les communications sont ralenties

Les messages transitent à la vitesse de la lumière. Il faut donc une minute et trois secondes pour que parvienne sur Terre un signal envoyé depuis la Lune, et quinze minutes en moyenne depuis Mars.

La gravité change

L'homme est six fois moins lourd sur la Lune que sur Terre, presque trois fois moins sur Mars... Et dans l'espace, en dehors de tout champ gravitationnel planétaire, le corps ne pèse rien : il flotte.

LE DÉFI DE L'APESANTEUR

TOUTE LA MÉCANIQUE DU CORPS SE DÉRÈGLE

Le bilan est sans appel. *“Selon les connaissances actuelles en physiologie spatiale, les astronautes arriveront vivants sur Mars, mais ils seront en tellement piteux état qu’ils ne pourront rien y faire”*, alerte Pierre Denise, doyen de la faculté de médecine et président de l’université de Caen.

Incapacité à se tenir debout, risques de fractures et de syncopes, déficience visuelle, perturbations du système nerveux... Après quelques mois dans l’espace, les astronautes n’auront plus rien des fiers aventuriers qu’ils étaient en embarquant.

Les enivrantes images de lévitation provenant de la Station spatiale internationale (ISS) ou des vols en apesanteur sont trompeuses. Nous ne sommes pas faits pour flotter dans les airs. Façonné par la pesanteur terrestre, notre corps subit en effet de lourdes conséquences dès qu’il quitte le sol. Toutes rassemblées, elles s’apparentent à... un vieillissement accéléré (voir ci-contre)!

La prise de conscience est récente. Elle se fait progressivement, étude après étude, depuis la première expédition humaine à bord de l’ISS, en 2000. A chaque mission, grâce au suivi des astronautes-cobayes par les équipes scientifiques au sol, de nouvelles données physiques et physiologiques s’accumulent, révélant un peu plus les effets désastreux d’un séjour de longue durée dans l’espace.

C’est durant le voyage, dans le vaisseau en chute libre permanente et donc en l’absence de toute pesanteur, que les dégâts sont le plus importants. Mollets de coq et visages bouffis... Quelques jours dans l’espace suffisent



Des dysfonctionnements apparaissent très vite

Après six mois en apesanteur, les astronautes (ici Samantha Cristoforetti, en 2015) ne tiennent plus debout ! Depuis le premier séjour à bord de l’ISS, en 2000, les données s’accumulent, révélant des dommages qui surviennent dès les premiers jours en orbite (à dr., Christa McAuliffe durant un entraînement de micropesanteur, en 1986).

à observer les premières transformations sur le corps pourtant sculpté des astronautes. L’atrophie musculaire, notamment au niveau des membres inférieurs devenus inutiles, est certainement l’effet le plus palpable. Mais de façon générale, tout se passe comme si l’ensemble des masses liquidiennes du corps – sang, lymphe, liquide intercellulaire... – se répartissait différemment, avec pour résultat une hyperpression intracrânienne et une hypopression au niveau des membres inférieurs.

Les minéraux contenus dans les matrices de collagène des os n’échappent



pas à ce phénomène. Certains astronautes subissent ainsi plus de 20 % de perte osseuse en six mois. *“Nous en observons les prémices dès le premier mois. Et la situation empire avec le temps. Entre quatre et six mois, ces pertes osseuses sont significatives et surtout localisées dans les os dits porteurs : la colonne vertébrale et tous les membres inférieurs, tels le fémur et le tibia”*, rapporte Laurence Vico, spécialiste du squelette à l’Inserm.

Le système cardio-vasculaire est loin d’être épargné. Les parois des artères carotides et fémorales subissent un épaississement important et se rigidifient. *“Elles vieillissent de vingt à trente ans en six mois”*, affirme Philippe Arbeille, directeur de l’unité de médecine et physiologie spatiale à l’université de Tours. A en croire les



La vue se brouille

L'hyperpression intra-crânienne provoque une perte de champ visuel ainsi qu'une baisse de l'acuité.

Les os se fragilisent

La densité de minéraux dans les os diminue de 1 à 2 % par mois : ils perdent de la masse et se dégradent.

Le système cardio-vasculaire vieillit

En six mois, les artères vieillissent de vingt à trente ans : leurs parois s'épaississent et se rigidifient.

Le métabolisme se détraque

L'inactivité physique entraîne une augmentation du taux de graisse dans le sang et une résistance à l'insuline qui altère le système immunitaire.

Les muscles s'atrophient

En l'absence de gravité, les muscles des membres inférieurs et du dos cessent d'être sollicités : ils s'affaiblissent.

spécialistes, c'est donc une équipe de vieillards qui débarquera sur Mars, ou n'importe où ailleurs dans l'espace !

Pour couronner le tout, le voyageur spatial souffre de dérèglements métaboliques, tels que la résistance à l'insuline, qui conduit à des états de prédiabète, et l'hyperlipidémie (taux élevé de graisse dans le sang). Des expériences menées sur Terre, dans lesquelles des volontaires étaient allongés avec la tête un peu plus basse que les pieds suivant un angle de -6° pendant soixante jours, simulant ainsi les effets de l'apesanteur, ont confirmé ces perturbations.

"Nous sélectionnons des profils très sains, sportifs, ne présentant aucune prédisposition génétique à l'obésité ou au diabète, précise Audrey Bergouignan, spécialiste de

la nutrition à l'Institut pluridisciplinaire Hubert Curien de Strasbourg. *Nous contrôlons les apports nutritionnels afin d'éviter la prise de poids... Or, nos cobayes développent des profils métaboliques proches de ceux de personnes atteintes d'obésité et de diabète de type 2 ; c'est assez incroyable !*"

UNE RÉÉDUCATION INTENSE S'IMPOSE

Au final, c'est l'ensemble du métabolisme humain qui se détraque. Bien sûr, certaines contre-mesures ont été mises en place : les astronautes se plient à deux heures de sport quotidiennes (vélo, course sur tapis roulant...) pour limiter l'atrophie musculaire ; ils peuvent porter le "pantalon Tchibis", un vêtement bardé d'électronique, utilisé depuis les premières missions spatiales, pour attirer le

flux sanguin vers les jambes et soulager cœur et artères ; il leur faut en outre suivre un régime nutritionnel ou prendre des médicaments (notamment des cocktails aux propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires). Mais cela ne suffit pas.

Pour preuve, tout simplement : leur état physique après six mois à bord de l'ISS. "Quand ils reviennent sur Terre, nous devons les extraire de la capsule Soyouz. Ils bénéficient ensuite d'une rééducation intense adaptée à leurs pertes et, pendant trois semaines, ils ne sont pas autorisés à conduire ni à effectuer un vol transatlantique. Seront-ils capables de sortir tout seuls du véhicule sur Mars ? Vont-ils récupérer ? Je ne sais pas...", s'inquiète Brigitte Godard, médecin des astronautes à l'Agence spatiale européenne, →



DEUX HEURES DE SPORT PAR JOUR POUR LIMITER LES DÉGÂTS

Afin de contrer les effets de l'apesanteur sur les muscles et, dans une moindre mesure, sur les os, les astronautes combinent exercices d'endurance (vélo, tapis roulant) et en résistance (musculature, etc.)... mais cela ne suffit pas.

qui s'occupe notamment du suivi médical de Thomas Pesquet, actuellement à bord de la station.

Pis, certaines mesures sportives comme les exercices en résistance, assez efficaces pour limiter les pertes musculaires et osseuses, multiplient les problèmes. Non seulement les astronautes maigrissent très vite à leur arrivée à l'ISS, aussi bien en raison du mal de l'espace (nausées, diarrhées...) les trois premiers jours que d'une alimentation réduite, mais ils n'arrivent pas à compenser les dépenses énergétiques causées par l'exercice physique. *"Ils peuvent perdre jusqu'à 5 kg par mois, déplore Audrey Bergouignan. A ce rythme, ils n'arriveront pas entiers sur Mars."* De nouvelles directives tendent à limiter les exercices au mois précédant l'arrivée et à favoriser les compléments alimentaires... Mais alors *quid* des muscles et des os ? Le serpent se mord la queue.

D'autant qu'à tous ces problèmes s'ajoutent d'autres effets qui, s'ils sont moins vitaux, n'en sont pas moins alarmants pour la bonne marche d'une

mission martienne. Ils pourraient en effet engendrer des erreurs humaines susceptibles de remettre en cause la fiabilité des opérations techniques. *"A plusieurs reprises au cours des deux dernières années, les Américains ont observé lors de manœuvres manuelles des erreurs d'appréciation de la part d'astronautes pourtant parfaitement entraînés"*, relate Philippe Arbeille.

En cause, des pertes visuelles, réversibles dans la plupart des cas mais qui touchent 60 % des astronautes. Ainsi qu'un système nerveux affecté par l'apesanteur – ce qui était prévisible...

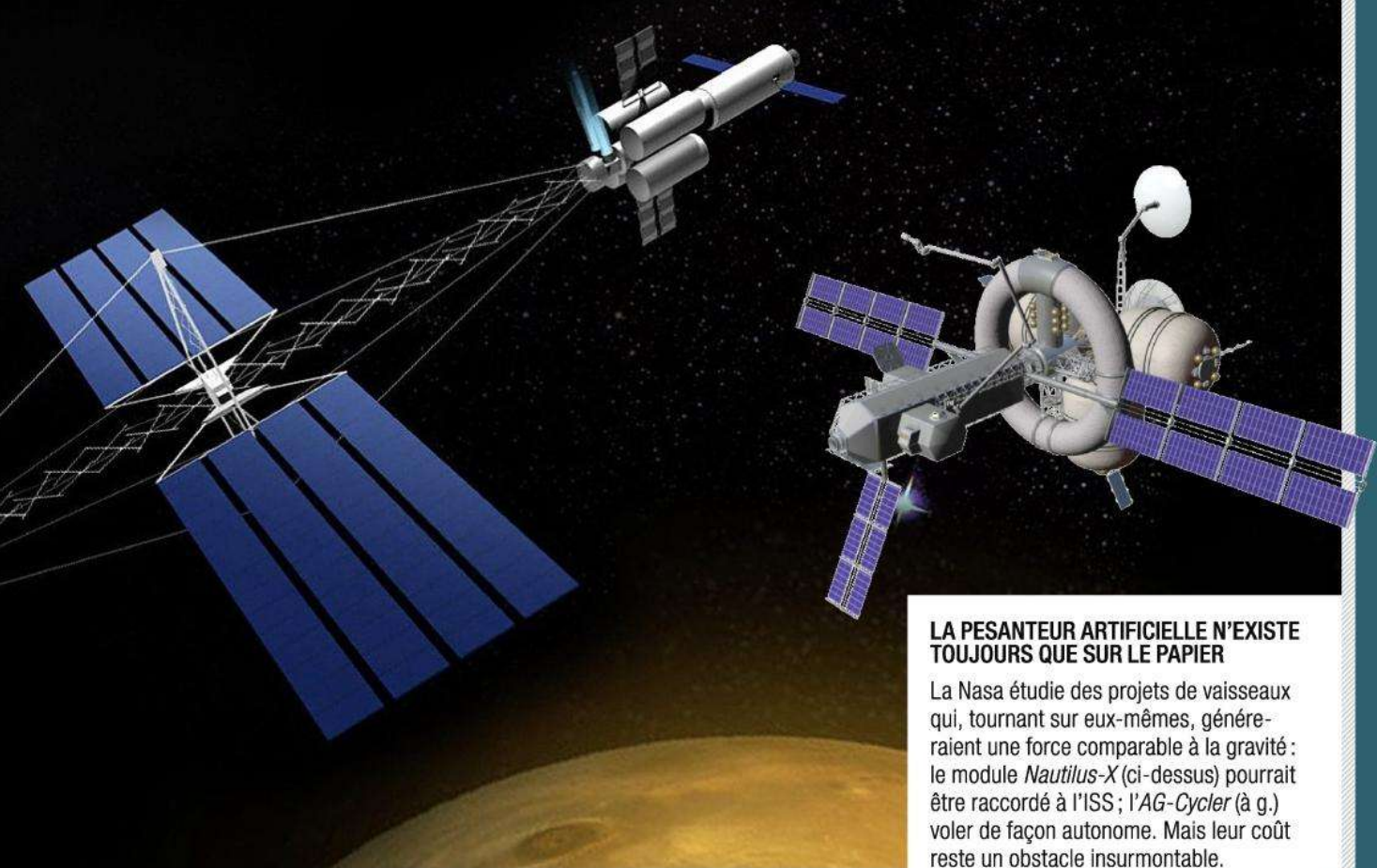


celui-ci étant justement basé sur la perception de la pesanteur terrestre. Sont concernés le système vestibulaire de l'oreille interne, pièce maîtresse de l'équilibre et de l'orientation, ainsi que le système proprioceptif. *"Plusieurs types de capteurs sensitifs au niveau des articulations permettent de réaliser des mouvements fins et des activités de coordination assez poussées, explique Brigitte Godard. Or, au retour sur Terre, ces capteurs sont affectés."* Inquiétant quand on sait que l'équipe qui débarquera sur Mars devra tout entreprendre de façon autonome...

BRIGITTE GODARD

Médecin des astronautes à l'Agence spatiale européenne

Les astronautes pourront-ils sortir seuls du véhicule sur Mars ? Vont-ils récupérer ? Je ne sais pas...



LA PESANTEUR ARTIFICIELLE N'EXISTE TOUJOURS QUE SUR LE PAPIER

La Nasa étudie des projets de vaisseaux qui, tournant sur eux-mêmes, génèrent une force comparable à la gravité : le module *Nautilus-X* (ci-dessus) pourrait être raccordé à l'ISS ; l'*AG-Cycler* (à g.) voler de façon autonome. Mais leur coût reste un obstacle insurmontable.

Parmi cette impressionnante liste de dommages, les spécialistes jugent que le plus préoccupant est la perte osseuse. Et pour cause : c'est pour l'instant le seul à être partiellement irréversible. *"Certains astronautes ont toujours des problèmes un an après leur retour, confirme Laurence Vico. Par ailleurs, après six mois ou plus de voyage spatial, nous ne sommes jamais à l'abri d'un traumatisme qui pourrait générer une fracture osseuse. Comment se réparerait-elle dans les conditions martiennes... Nous n'en avons aucune idée."*

Mais même les phénomènes réversibles inquiètent. Car le seront-ils sur Mars ? La bonne nouvelle, c'est qu'il y a de la pesanteur sur la planète rouge. La mauvaise, c'est qu'elle est trois fois inférieure à celle de la Terre. Comment le corps réagira-t-il à la sortie du vaisseau ? Difficile d'expérimenter cela avant le grand voyage. Les chercheurs ont toutefois réalisé des estimations : *"Un tiers de notre gravité suffirait à ne pas engendrer de perturbations notables sur un corps sain. En*

revanche, cela n'entraînerait pas la réversibilité de phénomènes déjà installés", résume Pierre Denise. En bref, la condition *sine qua non* d'une mission martienne viable implique... l'arrivée d'astronautes en pleine forme.

UNE "CENTRIFUGEUSE HUMAINE"

Il n'y a donc pas d'alternative : il faut trouver le moyen de générer une pesanteur artificielle durant le voyage. C'est possible. Dans l'espace, la rotation du vaisseau peut, grâce à l'effet centrifuge, générer une force comparable à la gravité. Le principe a été maintes fois détaillé dans la fiction – comme en témoigne le gigantesque anneau en rotation du vaisseau *Hermes* du film *Seul sur Mars*. Il est même sérieusement étudié dans une version plus économique. La Nasa a ainsi détaillé un design de vaisseau en deux parties, reliées par un câble et en rotation l'une par rapport à l'autre. Mais ces travaux demeurent pour l'instant théoriques : une telle option implique une remise à zéro conceptuelle des vaisseaux, et donc des coûts insurmontables.

Reste une dernière solution : intégrer un dispositif qui met le corps en rotation au sein du vaisseau – une sorte de centrifugeuse humaine ! C'était d'ailleurs l'idée retenue dans un scénario de mission martienne très complet publié dès 2004 par l'Agence spatiale européenne. Et depuis 2007, l'Institut de médecine et de physiologie spatiales, à Toulouse, est équipé d'une telle centrifugeuse de 7 m de diamètre, susceptible d'être intégrée à un vaisseau. *"Cette solution est de plus en plus prise au sérieux, réagit Pierre Denise. Il s'agirait de soumettre régulièrement les astronautes aux effets d'une centrifugeuse à bras longs reproduisant deux fois la gravité terrestre."*

Sauf qu'aujourd'hui, la seule centrifugeuse ayant pris place à bord de l'ISS est destinée... aux souris. Et qu'aucun des vaisseaux envisagés pour la mission habitée vers Mars, ni les projets de la Nasa, ni même le vaisseau interplanétaire de SpaceX, n'intègre cette option... Si l'on ne veut pas transformer le rêve spatial en cauchemar, il va falloir revoir les plans.

LE DÉFI DES RADIATIONS

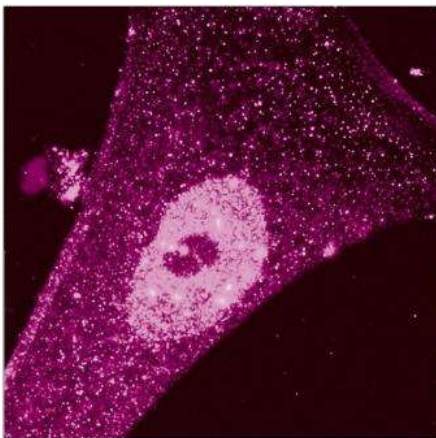
ELLES DÉPASSENT DE LOIN CE QUE LE CORPS PEUT SUPPORTER

A ce jour, c'est un 'no go', tranche Bernard Comet, président du conseil médical de l'Agence spatiale européenne (ESA). *Les risques de cancer flirtent avec les 10 % pour une mission martienne de deux ans et demi.* Sans parler des effets à court terme, encore hypothétiques, sur les os, les muscles ou même les neurones...

Les scientifiques sont unanimes. Les radiations constituent un point bloquant dans le projet d'exploration humaine du système solaire. Loin de la magnétosphère, le bouclier naturel de la Terre, et de son atmosphère, les astronautes sont bombardés de particules cosmiques voyageant à la vitesse de la lumière. Car l'espace interplanétaire est loin d'être vide de matière. Il est traversé par des flots de particules très énergétiques (85 % de protons, 14 % de particules alpha et environ 1 % d'éléments plus lourds tels que le fer) issues d'événements galactiques et extragalactiques, et de particules du vent solaire (surtout des protons sous la forme d'atomes d'hydrogène ionisés).

"Ces particules issues du fond galactique vont traverser les parois du vaisseau et instaurer un bain de radiation plus de trois fois supérieur à celui de la Station spatiale internationale [ISS]", explique Jean-François Bottollier-Depois, physicien spécialisé en dosimétrie externe (mesure de la dose de radiations reçue) à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

La sonde *Curiosity* a fait le voyage en éclaireur vers Mars. Et son dosimètre, le Radiation Assessment Detector,



Les cellules sont attaquées en profondeur

En soumettant des cellules (ici de peau humaine) à des rayons X, les chercheurs reproduisent le flux cosmique auquel sont exposés les astronautes. Ils observent que les protéines réparatrices de l'ADN migrent très vite dans le noyau, signe que le cœur de la cellule a été endommagé. Les effets sur la santé sont terribles.

affiche une quantité qui dépasse les limites acceptables : au cours de sa croisière entre la Terre et Mars, de décembre 2011 à juillet 2012, elle a comptabilisé pas moins de 330 millisieverts (mSv, unité qui mesure les dégâts biologiques d'une irradiation en fonction de la quantité reçue mais aussi de la nature des radiations)... Pour comparaison, la population française supporte en moyenne de 2,4 à 2,9 mSv d'irradiation naturelle sur une année ! Et à ces radiations s'ajoutent celles qui seront reçues à la surface de Mars – contrairement à la

Terre, la planète rouge ne possède pas de champ magnétique, et son atmosphère est très ténue. Un séjour de cinquante jours à sa surface engendrerait donc une irradiation supplémentaire d'environ 320 mSv.

Sans compter qu'à ce bruit de fond galactique s'ajoutent des éruptions solaires épisodiques qui génèrent de violentes bouffées de protons, au point de quasiment doubler la dose de radiations ! *"Ce problème est connu mais pourrait être réduit moyennant des dispositions spécifiques, assure Jean-François Bottollier-Depois. En cas d'éruption, un système de détection déclencherait une alarme et les astronautes iraient se mettre à l'abri dans une partie confinée du vaisseau, dont le blindage sera étudié afin de réduire au mieux la dose reçue."*



L'ADN se casse

Les particules très énergétiques des rayons cosmiques frappent les molécules d'ADN, cassant leurs liaisons. Des lésions apparaissent.

Le risque de cancer explose

Si l'ADN se répare mal, les cellules mutent, provoquant le développement de cancers.

Les tissus vieillissent

Mal réparées, les lésions de l'ADN peuvent aussi empêcher la reproduction cellulaire. Os, muscles et tissus nerveux vieillissent prématurément.

L'œil s'opacifie

Des particules pénètrent dans l'œil, attaquant la rétine et entraînant l'opacification du cristallin (cataracte).

À LA UNE

Sauf qu'indépendamment de ces éruptions "maîtrisables", l'addition est déjà salée: une mission de deux ans et demi sur Mars exposerait les astronautes à une dose cumulée de 1 sievert au minimum, soit plus de 50 fois la dose réglementaire annuelle maximale des travailleurs à risque en France, fixée à 20 mSv!

PAS TOUS ÉGAUX FACE AUX RAYONS

Or, aujourd'hui, personne ne peut évaluer précisément les conséquences sur la santé d'une exposition à ces taux inédits. Car si les effets sont connus pour de fortes doses absorbées sur un temps court – dès que l'irradiation dépasse 1 milligray (mGy, unité qui mesure la quantité d'énergie reçue), des effets sur les cellules et une altération de l'ADN apparaissent, et la moitié des

accidents par irradiation globale sont mortels à partir de 4,5 grays (Gy) –, aucune étude épidémiologique n'a pu mettre en évidence les implications d'une dose aussi importante étalée sur le long terme... Et pour cause, "seules les données de référence d'Hiroshima sont disponibles. Nous savons qu'il ne faut pas dépasser 100 mSv pour éviter les leucémies, et 200 mSv pour les cancers solides", détaille Nicolas Foray, directeur du Groupe de radiobiologie du Centre de recherche en cancérologie de Lyon. *Après ces doses seuils, la courbe est exponentielle: chaque millisievert supplémentaire augmente de 1 % l'excès de risque. Mais il s'agit de doses dispensées en une seule fois, lors de l'explosion de la bombe*".

Des expériences menées par le chercheur et son équipe donnent toutefois

un début de réponse. Et les nouvelles sont mauvaises: "*Jusqu'ici, tout avait été mis sur le dos de l'apesanteur, mais on s'aperçoit que certains phénomènes se conjuguent et que les radiations pourraient jouer un rôle important.*"

L'os est particulièrement concerné. De très faibles doses pourraient tuer les cellules osseuses, a priori plus sensibles que celles de la peau, et engendrer des modifications de la matrice de l'os, qui deviendrait alors incapable de récupérer des pertes liées à l'apesanteur. Sont aussi susceptibles d'être touchés "*les muscles et les cellules cérébrales, qui, comme les os, pourraient vieillir plus vite que d'autres types cellulaires sous l'effet de faibles doses de radiations*", précise Nicolas Foray.

Ces études montrent aussi que nous ne sommes pas tous égaux face ➔

→ aux radiations : certaines personnes réparent rapidement leur ADN, quand d'autres sont plus radiosensibles. C'est en ciblant une protéine en particulier, l'ATM, que les chercheurs s'en sont aperçus. Ce "général en chef" de la réparation de l'ADN migre du cytoplasme de la cellule vers son noyau lorsqu'il est exposé à des radiations. *"Plus vite l'ATM rentre dans le noyau, plus vite la réparation aura lieu, détaille le radiobiologiste. Et en mesurant le nombre de protéines qui passent dans le noyau en un temps donné à l'aide de biopsies de peau, nous avons pu déterminer trois grands groupes de radiosensibilité."*

Le premier (75 à 85 % de la population) répare vite et bien les dommages ; le deuxième (15 à 25 %) possède des protéines qui ralentissent l'ATM : l'ADN est soit réparé de façon incomplète, soit mal réparé ; enfin, chez le troisième groupe (moins de 1 %), la protéine ATM ne fonctionne pas en raison de maladies génétiques très rares. Une radiosensibilité individuelle qui n'est pas du tout prise en compte dans la sélection des astronautes. *"Ils devraient tous appartenir au groupe I", conclut Nicolas Foray.*

A ces constats déjà inquiétants se greffe le phénomène de l'hyper-sensibilité aux faibles doses, étudié depuis les années 1980 : elles semblent déclencher des altérations plus sévères que les doses moyennes ! *"Nous avons notamment observé ce phénomène chez les patients du groupe II, sur les cellules de l'os, précise le chercheur. Une irradiation à 0,2 Gy*

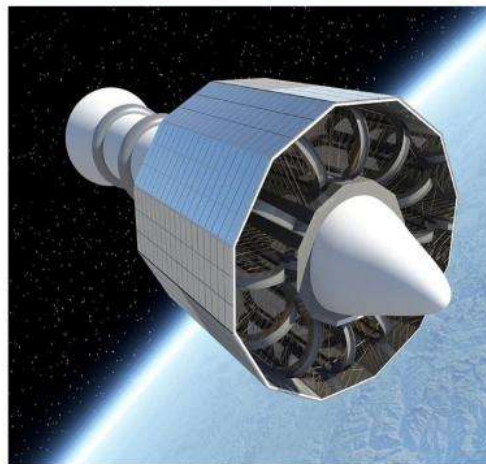


DES IGLOOS DE GLACE SERVIRAIENT DE REFUGE

La Nasa travaille sur plusieurs versions de bases aux parois de glace : elle est facile à manipuler et l'eau pourrait être extraite des sous-sols martiens.

UN BOUCLIER MAGNÉTIQUE EST À L'ÉTUDE

C'est la solution la plus crédible pour la durée du vol : un champ magnétique faisant écran aux rayons cosmiques. L'Institut italien de physique nucléaire projette de le générer avec des fils supraconducteurs déployés autour du vaisseau.



déclenche des détériorations équivalentes à une irradiation à 2 Gy ! C'est encore une énigme pour nous."

Or, à ce jour, aucune solution n'existe pour stopper ces radiations. Et comme pour l'apesanteur (lire pp. 54-57), c'est durant le voyage que le problème est le plus ardu. Sur Mars, en effet, les spécialistes ont des idées pour protéger les astronautes : l'eau présente dans les sous-sols pourrait par exemple être

utilisée pour construire des igloos, aux parois de glace protectrices. Une alternative serait d'enterrer la base à un mètre de profondeur – la dose reçue tomberait ainsi à 80 mSv par an. Même si, pour Pascal Lee, *"creuser sur Mars va être très difficile"*... Le cofondateur du Mars Institute envisage plutôt d'utiliser le sable, disponible partout sur la planète rouge, pour recouvrir l'habitat (voir modules ci-dessus).

Dans un vaisseau spatial, en revanche, impossible de multiplier les couches de blindage. Et il n'existe aucun matériau capable à lui seul de stopper l'intégralité du flux de particules galactiques. Si une feuille de papier suffit à arrêter les particules alpha, et une feuille d'aluminium les électrons, il faut un mètre de plomb pour stopper les protons de haute énergie ! Et seul un milieu riche en hydrogène, comme la paraffine, immobilise les neutrons.



BERNARD COMET

Président du conseil médical de l'Agence spatiale européenne

Les risques de cancer flirtent avec les 10 % pour une mission martienne de deux ans et demi



▲ DES DÔMES ENTERRÉS LIMITERAIENT LE DANGER

Enterrer une base à un mètre de profondeur diviserait par trois les radiations subies. La recouvrir de sable (omniprésent sur Mars) paraît cependant plus réaliste : cette option est étudiée par l'ESA.

Les scientifiques s'aperçoivent même que certains blindages deviennent, une fois irradiés, aussi dangereux que les particules elles-mêmes... C'est le cas du plomb, par exemple : ce matériau très dense limite le passage des protons, mais il interagit aussi avec eux. *"Des réactions nucléaires ont lieu et produisent des particules secondaires, notamment des neutrons, qui ont des effets biologiques encore plus importants"*, détaille Jean-François Bottollier-Depois. C'est même le cas des métaux les plus simples (acier, aluminium...) qui constituent habituellement les vaisseaux spatiaux. Les spécialistes l'ont compris lors des missions Apollo : ils ont remarqué que des dizaines de milliers d'impacts d'ions métalliques constellaient les casques des astronautes. Or, la probabilité d'impact d'une telle particule issue du fond galactique est d'une par kilomètre carré et par siècle ! *"Les protons*

cosmiques ont déplacé, un peu comme au billard, les particules métalliques du vaisseau", explique Nicolas Foray.

Ces ions secondaires, qui pénètrent la matière sur quelques centimètres, ciblent principalement la peau et les yeux, attaquant la rétine et provoquant une opacification progressive du cristallin. Le constat est bien réel : plus de 30 % des astronautes souffrent de cataracte. *"Cette source 'particules secondaires métalliques' a été complètement oubliée. Il n'y a pas d'étude là-dessus"*, regrette le chercheur.

L'UN DES RISQUES DU MÉTIER ?

"Nous sommes un peu piégés", résume Bernard Comet. Le spécialiste de l'ESA, comme la plupart des scientifiques qui se sont penchés sur la question, ne voit en fait qu'une solution viable : déployer autour des vaisseaux des boucliers magnétiques pour dévier les particules. Nombre d'équipes, à la Nasa ou au CEA notamment, travaillent sur le sujet. Mais l'aboutissement de ces recherches reste incertain. *"Nous parlons de*

particules de plusieurs centaines de méga ou gigaélectronvolts, qui nécessiteraient pour être déviées des champs magnétiques très intenses, alerte Jean-François Bottollier-Depois. D'où des demandes conséquentes en énergie et en masse à embarquer."

Un nuage d'incertitudes enveloppe donc les futurs colons martiens. Pour certains, le danger est inhérent au voyage : *"La probabilité d'avoir un cancer à long terme est certes augmentée de façon significative, mais cela fait partie des 'risques du métier'. C'est comme l'accident au décollage..."*, estime Jean-François Bottollier-Depois. D'autres mettent les agences des futurs voyages interplanétaires face à leurs responsabilités : *"On peut tourner le problème comme on veut, si on a cumulé plus de 100 mSv à la fin de la mission, on prend des risques énormes. Le problème n'est plus radiobiologique, il devient sociétal. Est-ce que la société, sachant ça, est prête à envoyer des gens sur Mars?"*, questionne Nicolas Foray. En l'état actuel des choses, les astronautes serviront de cobayes...

LE DÉFI DU STRESS

L'ISOLEMENT ET LE CONFINEMENT FONT DES RAVAGES

Nous voici devant la plus grande inconnue du voyage, pourtant pièce maîtresse de la réussite de cette aventure hors de la Terre : l'homme face à ses sentiments, ses peurs, ses attachements, ses besoins... mais, surtout, l'homme face aux autres. *"N'oubliez pas que ces charmants astronautes sont enfermés dans l'équivalent d'un grand appartement parisien ! Et qu'ils voient en permanence les cinq autres mêmes têtes. Ça peut être très sympa les quatre premières semaines, mais au bout de six mois on ne pense plus qu'à une chose, c'est se tirer de là !"* caricature François Spiero, responsable des vols habités au Centre national d'études spatiales.

Cette caricature n'est peut-être pas si loin de la réalité. Troubles du sommeil, baisse de l'humeur, réactions d'hostilité, ralentissement cognitif, somatisation... Le stress lié au confinement et à l'isolement est même suspecté de participer aux problèmes cardiovasculaires des astronautes ainsi qu'au dérèglement de leur microbiote ou de leur métabolisme hépatique.

Les données sont rares et restent souvent hypothétiques. Et pour cause, les expériences de simulation, aussi confinées et isolées soient-elles, ne reproduiront jamais la situation extraordinaire d'un vaisseau quittant la Terre pour n'y revenir que plusieurs années après. Sachant que les langues des principaux intéressés se délient rarement pour trahir quelque faiblesse humaine. *"Aucun astronaute à bord de la Station spatiale internationale [ISS] ne m'a avoué avoir envie de*



En quelques mois, des signes apparaissent

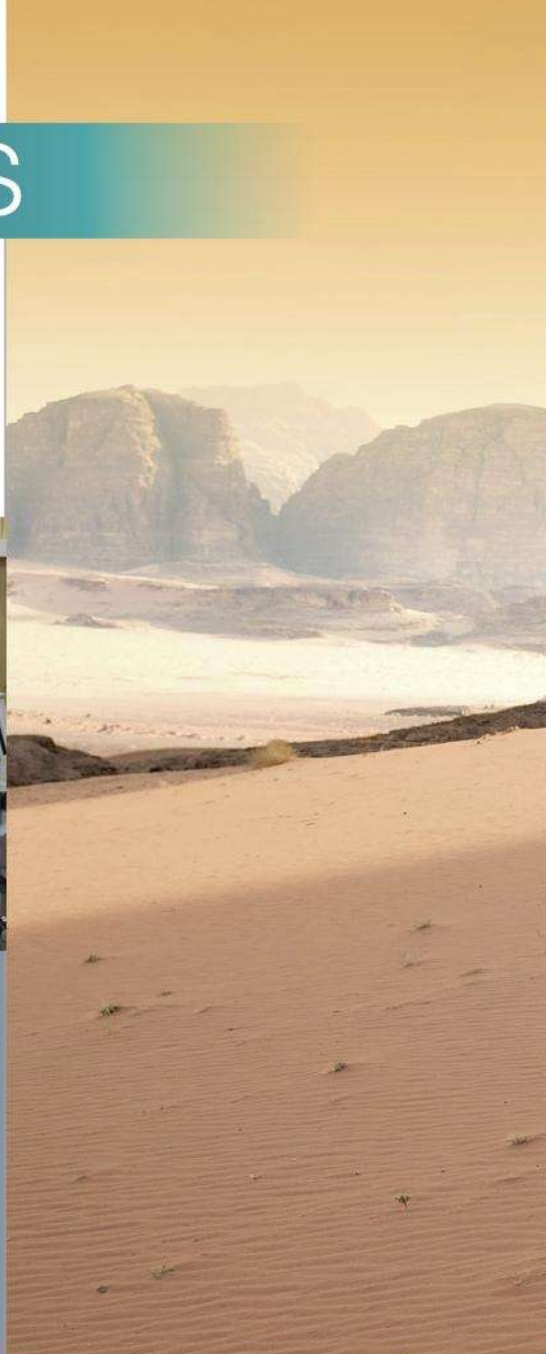
Entre 2010 et 2011, dans la banlieue de Moscou, six hommes ont passé 520 jours isolés de tout, enfermés dans une réplique de vaisseau spatial simulant les conditions d'un voyage aller et retour vers Mars. Les résultats de l'expérience, nommée Mars 500, viennent de tomber : ils montrent que passé une courte phase d'euphorie, le stress d'un tel isolement provoque de nombreux problèmes psychologiques... mais aussi physiques.

rentrer, mais est-ce que c'est quelque chose qu'ils me diraient ? Ils pourraient avoir trop peur de ne jamais repartir..." analyse Brigitte Godard, médecin des astronautes à l'Agence spatiale européenne.

Les agences spatiales se sont d'ailleurs par le passé très peu intéressées à ces facteurs psychologiques, préférant concentrer leurs efforts sur les aspects technologiques et physiologiques. Pourtant, dès 1954, Jean Rivolier,

médecin emblématique des Expéditions polaires françaises, décrivait ce qu'il nommait le *"syndrome mental d'hivernage"*, observé au cours de longues périodes (plus de six mois) d'isolement et de confinement sur les terres australes et antarctiques.

Aujourd'hui, les expériences d'enfermement en "situation martienne" se multiplient. La plus représentative, Mars 500, menée en Russie entre 2010 et 2011, simulait les conditions rencontrées par un équipage de six personnes lors d'une mission aller-retour sur la planète Mars d'une durée de





L'esprit ralentit

Loin de tout, les capacités cognitives diminuent, ce qui se manifeste par de la fatigue, une baisse de l'attention et de la motivation, voire une apathie.

Le corps somatise

Dans cet environnement inhabituel, le corps réagit au stress par des troubles du sommeil, des maux de tête, des problèmes digestifs...

La personnalité est affectée

En réaction à la promiscuité, les astronautes se replient sur eux-mêmes ou deviennent agressifs envers les autres.

Le système cardio-vasculaire est touché

Sans qu'on se l'explique pour l'instant, le stress généré par l'enfermement provoque notamment un épaississement des artères.

À LA UNE

520 jours. De cette expérience, dont les résultats ont été publiés ces derniers mois, ressortent de grandes généralités liées aux règles de communication entre participants (ne pas parler de politique, de religion...) et, surtout, la confirmation de ce syndrome qui se manifeste en trois phases.

UN COMBAT AU COUTEAU EN VOL !

Une période de découverte se déroule sur environ un sixième du séjour. Elle représente l'aboutissement du processus de candidature et de préparation, et s'apparente à une sorte d'euphorie.

"En arrivant, ils sont presque toujours enchantés d'être là. Ils sont hyperactifs et n'ont pas le temps de penser à leur condition", détaille Claude Bachelard, médecin chef des Terres australes et antarctiques françaises et de l'Institut polaire jusqu'en 2013.

Mais déjà, au bout d'environ deux mois débute une phase d'alarme. Des frustrations sont alors fortement perçues. *"On pense à ce qu'on a laissé derrière soi et on se demande si on a fait le bon choix",* explique le spécialiste. Isolé de sa famille, de ses amis, de ses hobbies... mais aussi de toutes

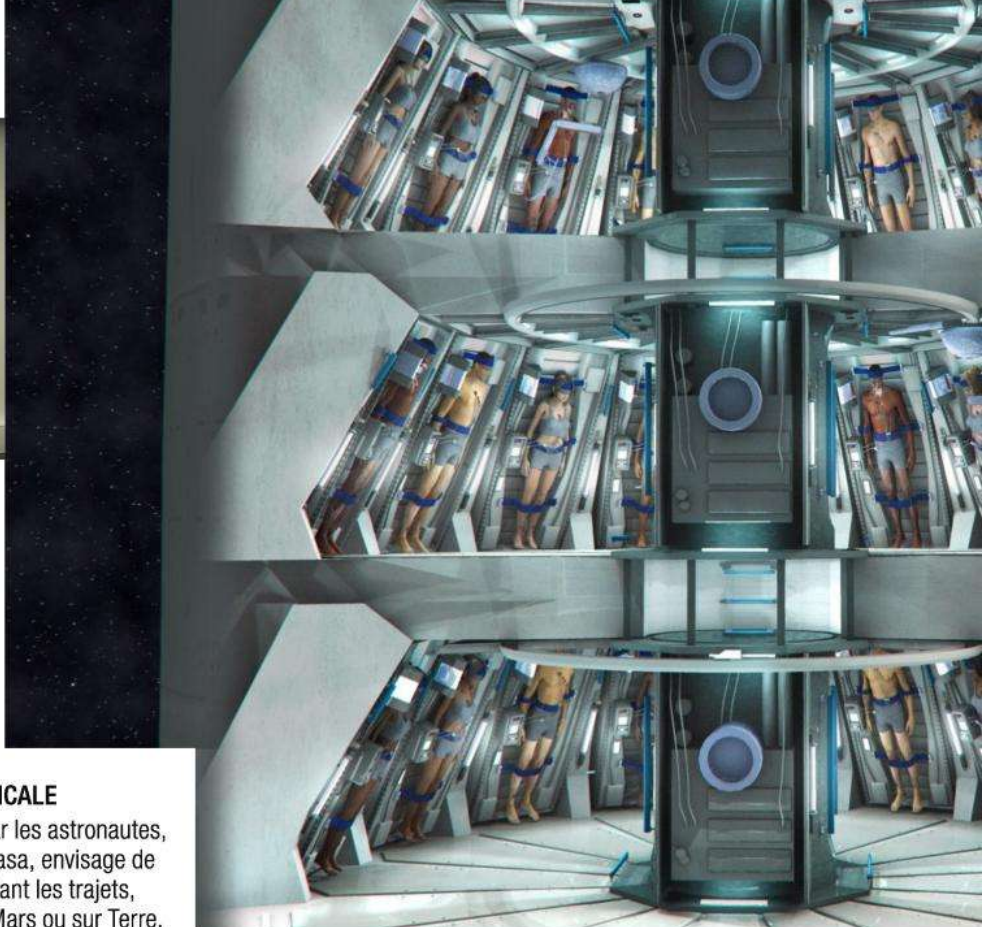
les sensations terrestres. *"Je rêvais de plonger dans une piscine et de sentir l'eau entourer mon corps",* se rappelle Romain Charles, ingénieur français membre de l'expérience Mars 500.

Vient alors la phase de résistance. La vie est entrée dans une sorte de routine et le poids de la présence des autres se fait sentir. *"Généralement surviennent des comportements qui, sans atteindre un niveau pathologique, se manifestent soit sur un mode dépressif, avec un fort repli sur soi, soit sur un mode agressif, avec des problèmes relationnels, voire des conflits",* décrit →



DES PSYCHOLOGUES VIRTUELS ACCESSIBLES EN TEMPS RÉEL

Le soutien apporté par ce type d'expert permettrait d'aider les astronautes à surmonter les phases les plus difficiles du voyage. Un projet en cours de développement à l'université de Bordeaux.



L'HIBERNATION, UNE SOLUTION RADICALE

Pour réduire la durée d'isolement subie par les astronautes, la société SpaceWorks, soutenue par la Nasa, envisage de les plonger dans un état de léthargie pendant les trajets, pour les réveiller juste avant l'arrivée sur Mars ou sur Terre.

→ Claude Bachelard. Certains peuvent estimer qu'ils travaillent plus que les autres, qu'on les dirige trop ou au contraire pas assez... Et chacun a tendance à attribuer les problèmes rencontrés aux autres membres de l'équipage ou à l'institution qui l'a envoyé là. *"Au cours d'une mission Skylab [première station spatiale américaine, occupée en 1973-1974], il y a eu un équivalent de grève: l'équipe à bord reprochait au centre de contrôle à terre de ne pas lui laisser assez de responsabilités et d'initiatives,* raconte Claude Bachelard. *Un malaise s'est ensuite installé entre les deux groupes."*

D'où l'importance de ne pas laisser aux astronautes le temps de s'ennuyer! *"Il n'y aura probablement pas de pilotage pendant le voyage. Mais il y aura quand même des tâches à réaliser, ne serait-ce que pour les occuper: l'oisiveté est mère de problèmes",* poursuit le médecin.

Ensuite, autour de la moitié du séjour, vient la phase d'épuisement. Si les membres de l'équipage font désormais preuve d'une meilleure tolérance

et d'un meilleur contrôle, ils sont également moins actifs et moins performants. *"Or, c'est à ce moment-là, alors qu'ils auront déjà souffert, qu'ils devront gérer les phases les plus critiques de leur voyage, comme l'atterrissage sur Mars",* alerte le spécialiste.

Si ces étapes critiques du voyage tendent à remobiliser l'équipe et à lui redonner de l'énergie, la fin de la mission fait en revanche ressurgir les problèmes interpersonnels: *"S'il y a eu des tensions, elles peuvent ressortir à cette occasion. Certains peuvent être amenés à crever des abcès qui avaient été jusque-là contenus."* C'est ainsi que deux astronautes en sont venus à se battre au couteau à bord de la station Saliout 5, déclenchant la fin prématurée de la mission et leur rapatriement! Lors d'une mission martienne, ce type de situation ne pourra pas être dénoué par un modérateur externe, les délais de communication s'échelonnant entre trois et vingt minutes...

Dès 1977, le premier occupant du vaisseau soviétique *Soyouz 25* formulait cette crainte: *"Toutes les*

conditions nécessaires pour commettre un meurtre sont réunies dès lors que sont enfermés deux hommes dans une cabine de cinq mètres sur six, et qu'on les laisse vivre ensemble pendant dix mois." Alors, que se passera-t-il dans un groupe de quatre ou six personnes confiné pendant deux ans et demi? *"Ainsi hors du monde, une équipe pourrait s'éloigner de l'ordre établi, ne plus percevoir de la même manière la nécessité de respecter les règles,* prévient Claude Bachelard. *C'est un des risques potentiels. Nous ne sommes pas à l'abri d'un coup de folie."*

LE STRESS A AUSSI DES VERTUS

A ces effrayants effets, encore mal évalués, s'ajoutent d'autres résultats inquiétants issus de l'expérience Mars 500: le stress a également d'étonnantes répercussions... physiques. *"Les participants ont montré exactement les mêmes transformations de la paroi artérielle qu'à bord de l'ISS,* souligne Philippe Arbeille, directeur de l'unité de médecine et physiologie spatiale à l'université de Tours. *On ne*



peut pas dire que c'est la microgravité, ni les radiations, l'exercice ou la nutrition... Il ne reste aucune cause identifiée à ce jour hormis le stress généré par l'enfermement et la promiscuité: c'est la relation entre individus qui devient pathologique."

Et les artères ne sont pas les seules à subir des modifications. Il a été établi qu'à bord de l'ISS, le stress et les changements d'habitudes alimentaires entraînent une modification du microbiote (ensemble des "bonnes" bactéries peuplant nos intestins) des astronautes. Pour remédier à ce problème, les Russes optent d'ailleurs déjà pour des greffes de microbiote... c'est-à-dire la réinjection de selles prélevées avant le départ.

Enfin, pour compliquer un peu plus les prévisions de ce qui se passera dans les navettes interplanétaires, l'expérience Mars 500 a aussi montré que le stress peut jouer un rôle salutaire. Michel Nicolas, spécialiste des facteurs psychologiques et psychosociaux liés à l'ajustement en situations extrêmes à l'université de

SANPSY LAB - NASA - S. PICARD/VU



“ ”

On ne peut pas savoir à l'avance comment on va réagir

CLAIRE LE CALVEZ

Responsable technique de la base antarctique Concordia, elle a vécu le premier hivernage de la station en 2005, dans un groupe de 13 personnes isolé du monde pendant neuf mois.

Science & Vie : Qu'est-ce qui est difficile lors d'un si long isolement ?

Claire Le Calvez : C'est surtout le manque d'intimité. On dit que pour s'adapter à ce type de situation, il faut savoir être solitaire... mais il faut surtout aimer vivre avec les autres ! On est tracé tout le temps : on a toujours une radio, on doit dire où on est, ce qu'on fait. Et puis il faut rester poli, respecter le travail de chacun, prendre du recul... Et parler, pour résoudre les conflits.

S&V : Les échanges avec l'extérieur aident-ils à apaiser les tensions ?

C.L.C. : Les solutions à nos problèmes ne viennent que très rarement de l'extérieur. Nos proches ne savent pas ce qu'on vit, et peuvent même accentuer la sensation d'isolement : quand on vous raconte qu'en France c'est les vacances et que vous, vous êtes dans le noir et le froid... ce n'est pas facile à vivre. Et si quelque chose de grave arrive,

c'est dur de se sentir impuissant. Puis, quand on rentre, on ne peut pas tout raconter, nos proches ne comprennent pas nos anecdotes... La première fois, cela ne s'est pas bien passé du tout pour moi.

S&V : Avez-vous vécu des situations de crise ?

C.L.C. : Nous avons notamment eu un black-out de deux heures à la centrale électrique. Certains ont mal réagi : en état de choc, ils n'arrivaient plus à réfléchir. Ils devenaient une gêne pour les autres. On ne peut pas savoir à l'avance comment on va réagir à un stress intense. Des comportements se révèlent. On pense avoir conscience du risque, mais on ne se rend vraiment compte de notre isolement que quand on y est.

S&V : Selon vous, comment cela se passera-t-il lors d'une mission vers Mars ?

C.L.C. : C'est sûrement comparable à ce que j'ai vécu d'un point de vue social. Mais six personnes dans un espace confiné pendant deux ans et demi... il y a intérêt à bien les choisir !

À LA UNE

Bourgogne, pointe ainsi les bienfaits d'un "stress positif", qui permet de mobiliser les ressources d'un individu pour l'aider à affronter une situation extrême. *"Nous avons observé que si les niveaux de stress positif diminuent légèrement, ceux de stress négatif n'augmentent pas tant que ça, détaille-t-il. A un certain niveau et dans une certaine durée, le stress favorise l'adaptation fonctionnelle."*

Tout est donc une question de dosage: il faut juste assez de stress pour catalyser l'action sans déclencher les effets secondaires... Sauf qu'un tel dosage est impossible à ajuster à l'avance tant il varie en fonction de l'individu.

D'autant que bien des troubles psychologiques qui seront subis par les voyageurs interplanétaires n'ont jamais été testés. En cas d'urgence, un astronaute de l'ISS peut être rapatrié sur Terre en vingt-quatre heures; il est possible d'être évacué d'une expérience de confinement, même d'une station arctique, en quelques jours.

Pascal Lee, cofondateur du Mars Institute, remet d'ailleurs en cause la représentativité des simulations terrestres: *"Je suis un peu sceptique face à des expériences telles que Mars 500. Même en Arctique, on est loin d'être dans les conditions martiennes! Les membres de la mission ne sont pas soumis à un danger véritable, or lorsque votre vie est vraiment menacée par les décisions prises, la dynamique change totalement. Il s'agit de créer des équipages qui fonctionnent bien ensemble non pas en temps normal, mais en période de crise."*

RECRECITER DES "SURHOMMES"

Et puis, jusqu'ici, l'homme a toujours eu la Terre sous ses pieds, ou au moins sous les yeux. C'est sans doute cela le plus difficile à anticiper: la plus grande expédition humaine de tous les temps confrontera pour la première fois des hommes à un phénomène très particulier, déjà théorisé et nommé "Terre hors de vue". Que se passera-t-il dans la tête des astronautes lorsque la Terre ne sera plus qu'un petit grain

Le retour, lui aussi, sera difficile

C'est le versant inconnu de la montagne, la face cachée de l'aventure. Que se passera-t-il une fois la mission finie, la capsule ouverte, les astronautes libérés? Ce retour à la maison, Paul-Emile Victor, célèbre pionnier des hivernages polaires français, le décrivait en 1987 comme un pendant de la tension initiale du départ: *"Nous avons passé une nuit exécrable, excités par notre retour, inquiets pour notre avenir et complètement déboussolés."* Nul doute que la réadaptation des astronautes à une vie qu'ils ne reconnaissent parfois plus constitue une ultime épreuve. *"Ils retrouvent un monde qu'ils avaient oublié, protégés du grouillement humain, des voitures, du bruit..."* relate Claude Bachelard. *Certains astronautes ont eu des réactions surprenantes: l'un d'eux disait avoir rencontré Dieu, quand d'autres souffrent de dépression."* Ce fut notamment le cas de Buzz Aldrin, le deuxième homme à avoir marché sur la Lune (mission Apollo 11, 1969), qui n'avait pourtant passé que huit jours dans l'espace! Rien de comparable aux deux ans et demi d'absence que devront surmonter les astronomes d'une mission martienne...

de sable à l'horizon? Indéniablement, il y aura de quoi renforcer le sentiment d'isolement et de confinement. Outre une préparation psychologique indispensable en amont (mises en situation seul ou en groupe, entraînements à la communication, à la méditation...), les solutions examinées s'attachent à offrir des fenêtres vers l'extérieur aux astronautes pendant le voyage, par exemple des vidéos des familles, des amis et de la Terre, ou le recours à un psychologue virtuel accessible en temps réel. La société américaine SpaceWorks, soutenue par la Nasa, envisage même le recours à une léthargie contrôlée de l'équipage durant les voyages aller et retour, grâce à une combinaison d'hyperthermie thérapeutique et de nutrition par voie intraveineuse... De quoi éviter tout conflit durant le vol!

Mais aujourd'hui, loin de ces options futuristes, la solution des agences consiste tout bonnement à recruter des "surhommes". Avec plus de 1 000 candidats pour un poste, elles en ont les moyens. *"Très stables émotionnellement, surdoués et au physique hors norme... Ce sont au final des personnes hors du commun!"* résume

Michel Nicolas. Mais que deviendra cette sélection drastique lorsque les touristes s'ajouteront à la liste des futurs Martiens? *"Le principal atout de ces touristes étant leur portemonnaie... Il n'y a aucune garantie pour que ça se passe bien là-haut!"*

Aussi étiéqué ou abîmé que puisse paraître à certains notre berceau natal, sommes-nous réellement prêts à le quitter? Le voyage interplanétaire semble nécessiter une sagesse et un détachement proprement surhumains. Au final, le principal défi de ce voyage n'est pas le moteur, la nourriture ou l'eau. Non. C'est le voyageur lui-même.



A consulter: les publications sur lesquelles nous nous sommes appuyés pour constituer ce dossier.

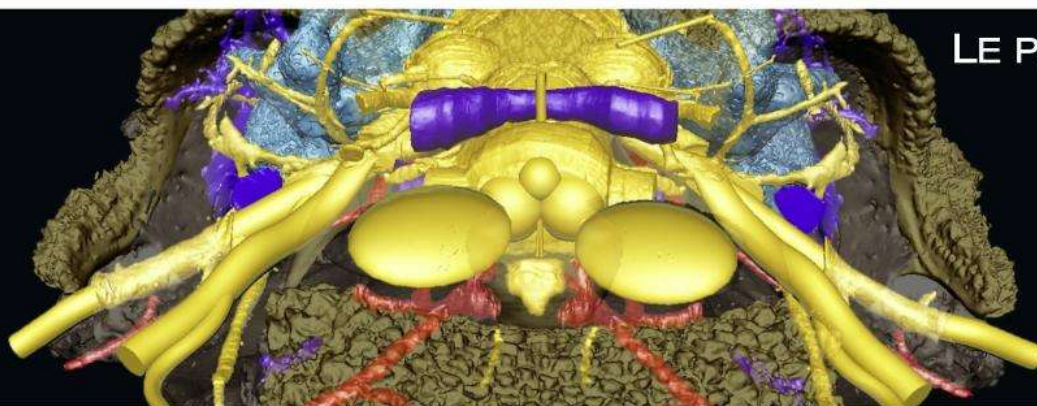
A voir: la série *Mars*, réalisée par Ron Howard (sur National Geographic Channel, disponible en DVD).

A lire: la BD *Mars Horizon*, par Florence Porcel et Erwann Surcouf (éd. Delcourt, 2017).

EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

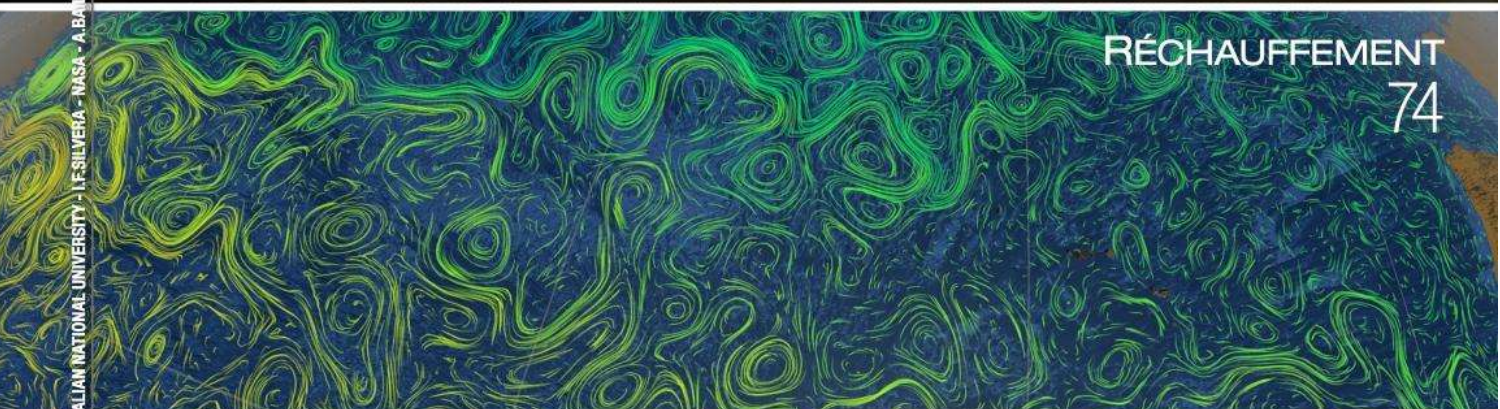
& Science découvertes



LE PREMIER VISAGE
68



HYDROGÈNE
MÉTALLIQUE
71



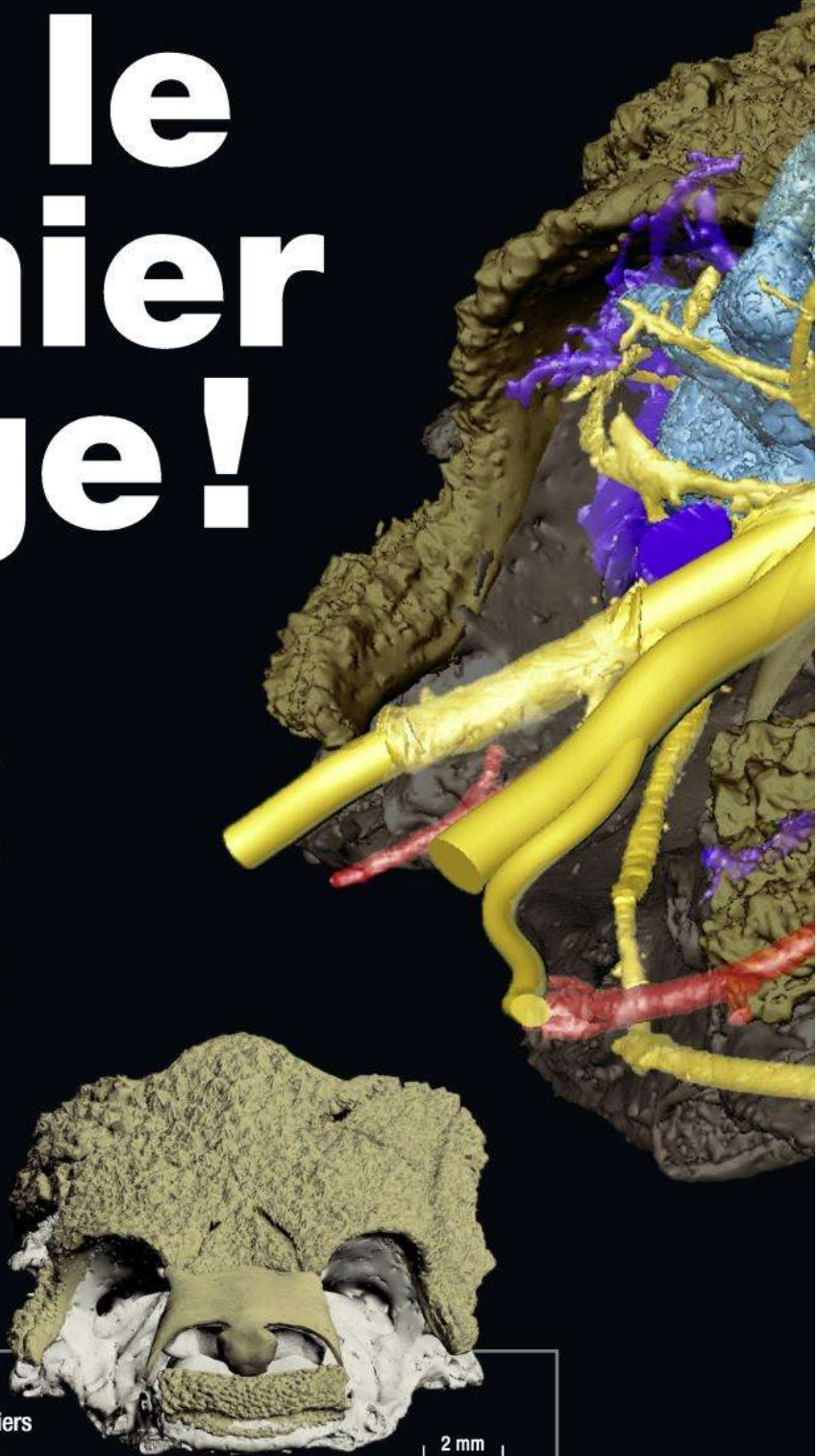
RÉCHAUFFEMENT
74



NEUROCHIRURGIE
ÉVEILLÉE
78

Voici le premier visage !

En scannant aux rayons X un fossile de poisson vieux de plus de 400 millions d'années, des paléontologues ont reconstitué rien de moins que le tout premier visage du règne du vivant. **Anne Debroise** nous explique pourquoi l'apparition d'une face, qui s'est imposée ensuite chez quasiment tous les vertébrés, fut un moment clé de l'histoire du vivant.



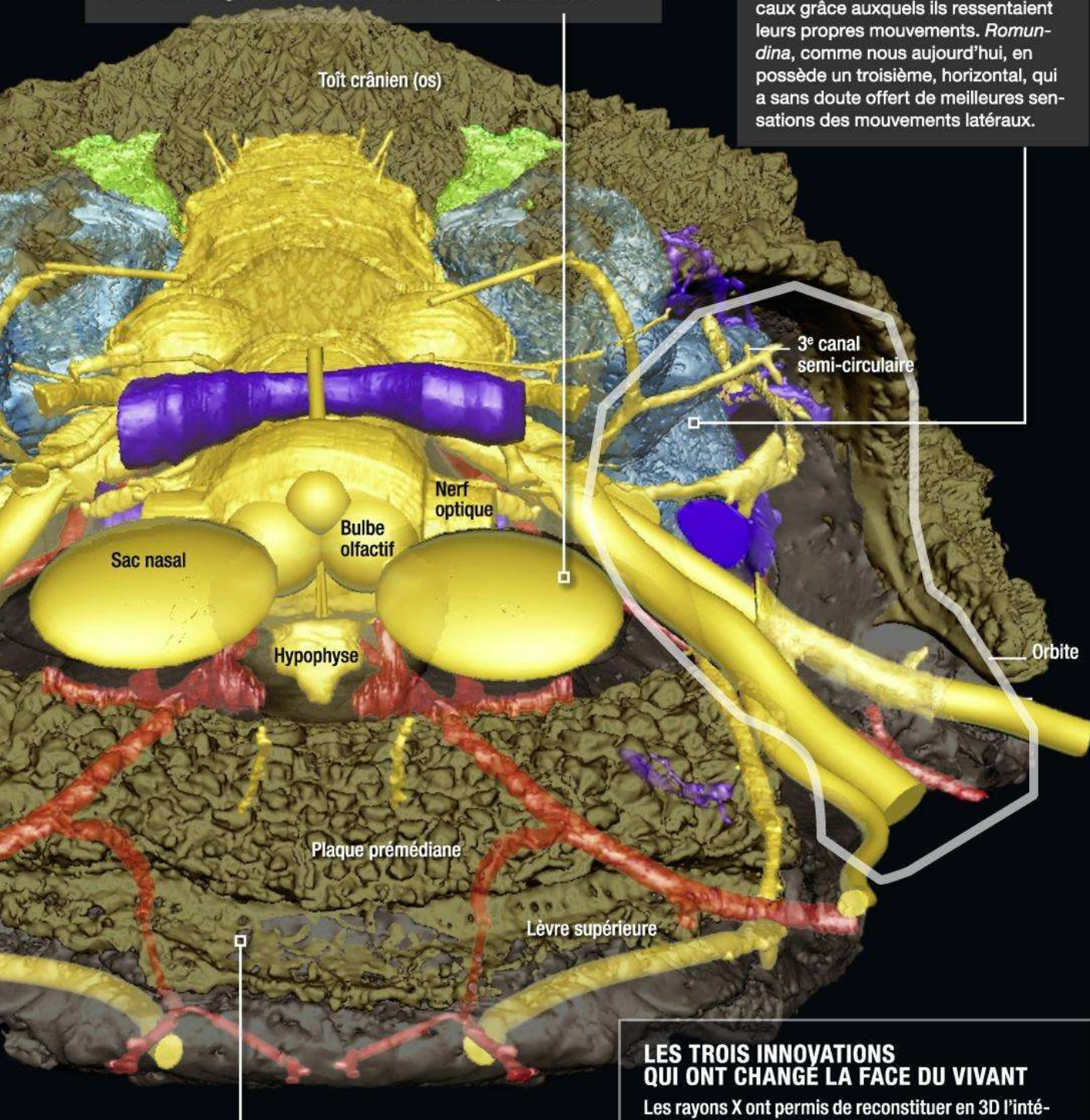
> UN ÉTAT DE CONSERVATION REMARQUABLE
Ce crâne est celui de *Romundina Stellina*, un des premiers poissons à mâchoire vivant il y a 415 millions d'années.

L'APPARITION DE DEUX NARINES

Contrairement à ses ancêtres, *Romundina* n'a pas une mais deux narines. Un avantage pour les futurs prédateurs: cela leur permettra de mieux distinguer les odeurs et d'identifier leur provenance.

LA SOPHISTICATION DE L'OREILLE INTERNE

Celle de ses ancêtres comprenait deux canaux semi-circulaires verticaux grâce auxquels ils ressentaient leurs propres mouvements. *Romundina*, comme nous aujourd'hui, en possède un troisième, horizontal, qui a sans doute offert de meilleures sensations des mouvements latéraux.



L'INVENTION DE LA MÂCHOIRE

Ses ancêtres étaient des poissons sans mâchoires, comme aujourd'hui les lamproies. Ici, le crâne se termine sur une lèvre osseuse sur laquelle s'attache la mâchoire supérieure, à laquelle s'articulait la mandibule inférieure (non présente ici).

LES TROIS INNOVATIONS QUI ONT CHANGÉ LA FACE DU VIVANT

Les rayons X ont permis de reconstituer en 3D l'intérieur du crâne de *Romundina Stellina*. Derrière les parties osseuses (en kaki), rendues semi-transparentes dans la partie basse, on distingue les nerfs, la cavité du cerveau (en jaune), les artères et les veines (en rouge). Et l'on voit surtout trois traits taillés pour la prédation dont hériteront 99 % des vertébrés actuels: la mâchoire, les deux narines et l'oreille interne.

Un trait pour la bouche, deux points pour les narines, deux ronds pour les yeux : ce schéma a connu un succès mondial. Partout sur Terre, il évoque un visage, humain ou animal. Comment s'est mis en place cet agencement qui donne au crocodile ce sourire carnassier, au perroquet son regard frondeur, ou au serpent son air enjôleur ? Un

poisson cuirassé vivant il y a 415 millions d'années, l'un des premiers poissons à mâchoire. Le chercheur renonce à le limer pour observer son relief intérieur, et, après l'avoir nettoyé à l'acide formique, le remise sur une étagère.

Sage décision. Car, depuis, les paléontologues ont découvert l'intérêt des rayons X pour visualiser les formes cachées des fossiles. L'université

Nerfs, cerveau, oreille interne, vaisseaux sanguins, muscles des yeux, tout y est !

Ce travail décrit une étape-clé de notre évolution : *"Les yeux, la bouche, les oreilles sont apparus aux alentours de 530 millions d'années, au début du Cambrien, mais ces organes ont alors une forme et un agencement très éloignés de ceux d'aujourd'hui"*, souligne Martin Brazeau, spécialiste de l'évolution des vertébrés à l'Imperial College de Londres. Chez les premiers vertébrés, le nez est composé d'une unique narine ; la bouche, sans mâchoire, ressemble à une ventouse pour aspirer des nutriments microscopiques dans l'eau.

Rien de tel sur le fossile de *Romundina* : une bouche articulée et solidifiée par une mâchoire, une double narine, une oreille interne sophistiquée, un système nerveux plus vif (lire encadré ci-contre)... *"Romundina est porteur d'innovations qui vont assurer le succès des vertébrés, en leur permettant de devenir des prédateurs"*, s'émerveille Vincent Dupret. En 2015, Martin Rücklin et Philip Donoghue pensent identifier, sur un autre fossile de *Romundina*, les précurseurs des dents – une interprétation qui reste controversée.

Une chose est sûre : ce petit poisson a inventé le visage moderne. Un visage taillé pour la prédation.

Un signal nerveux plus rapide ?

Avec *Romundina* et ses congénères placodermes, le système nerveux des vertébrés serait passé à la vitesse supérieure. C'est du moins l'hypothèse de Daniel Goujet : *"Nous avons mesuré la longueur des nerfs reliant la cavité cérébrale aux globes oculaires, ainsi que le diamètre du trou qu'ils empruntent pour traverser une paroi du crâne. Alors que chez les poissons sans mâchoires qui les ont précédés, les nerfs sont courts, ils sont ici longs et étroits. Les nerfs des placodermes devaient donc être entourés de myéline."* Chez les vertébrés actuels, cette gaine lipidique accélère la circulation des signaux électriques. Une invention qui a permis à leurs ancêtres non seulement d'être plus vifs, mais aussi d'être plus grands.

document exceptionnel permet aujourd'hui aux chercheurs d'esquisser la réponse.

Pour cela, il aura fallu l'œil exercé de Daniel Goujet, du Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Nous sommes en 1995 et le paléontologue est en campagne de prélèvements dans les îles arctiques du Canada : *"Je suis tombé sur une forme qui ne ressemblait vraiment à rien, et j'ai su par expérience que j'avais trouvé quelque chose de complexe, sans doute un crâne..."*, se souvient-il. Bingo ! Le fossile, d'à peine 1,2 cm de longueur, est le crâne quasi complet d'un *Romundina stellina*, un petit

d'Uppsala (Suède) emprunte donc en 2007 celui de *Romundina* pour le passer sous le rayonnement du synchrotron européen, à Grenoble.

MÂCHOIRE ET DOUBLE NARINE

Les clichés (des coupes espacées de 7 microns) donnent raison à Daniel Goujet : l'os qui entoure les structures crâniennes de l'animal, fin comme du papier à cigarette, est remarquablement préservé. Et lorsque Vincent Dupret, à l'université d'Uppsala, reconstitue la tête du poisson en 3D, il fait apparaître les empreintes laissées sur l'os par les structures sous-jacentes.



A consulter : les liens qui renvoient aux publications des chercheurs cités dans l'article.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Et si l'on avait trouvé la matière parfaite...



Deux physiciens annoncent avoir fabriqué de l'hydrogène métallique. Leurs concurrents contestent. Pour **Emmanuel Monnier**, cette controverse est le signe que la grande quête est près d'aboutir.

Les plus grandes quêtes de la physique ne sont pas celles dont on parle le plus. L'hydrogène solide métallique ne fait guère fantasmer le profane. *"Mais entre nous, on l'appelle le Graal"*, jubile Paul Dumas, physicien au synchrotron Soleil de Gif-sur-Yvette. Jugez plutôt : sous cette forme, l'hydrogène, l'élément le plus simple du tableau, ce gaz que l'on respire en permanence, serait supraconducteur, conduisant l'électricité sans la moindre résistance.

Surtout, il pourrait garder cet état une fois revenu à température et pression ambiantes... De quoi rêver à des batteries qui stockeraient l'énergie pour toujours, à des réseaux électriques sans aucune perte. Mais aussi à un carburant miracle pour propulser les fu-

sées car, beaucoup plus dense que l'hydrogène liquide, il serait aussi plus concentré en énergie. Une fois liquéfié, il serait en outre superfluide, s'écoulant sans inertie ni frottement, donc sans perte d'énergie. Et pour couronner le tout, il constituerait, selon les astrophysiciens, un précieux échantillon du cœur des planètes géantes gazeuses, comme Jupiter...

UN FUMET DE PRIX NOBEL

C'est cette matière aussi extraordinaire que miraculeuse qu'une équipe de l'université Harvard a annoncé avoir fabriquée le 26 janvier 2017, déclenchant une controverse dans le milieu feutré des physiciens des hautes pressions. Une telle avancée, si elle était confirmée, a comme un fumet de prix Nobel !

Mais leurs concurrents les jugent durement : extrapolations *"irréalistes"* de la pression ; absence de mesure de conductivité prouvant que l'état métallique a bien été atteint... A la publication de leur article, les critiques fusent, à l'image du commentaire sévère de Mikhaïl Eremets, à l'Institut de chimie Max-Planck de Mayence : *"Pas convaincant."*

Disons-le d'office, il est aujourd'hui impossible d'affirmer que la petite boule chatoyante de quelques micromètres qu'Isaac Silvera et Ranga Dias ont prise en photo est bien de l'hydrogène métallique. Il s'en sont même justifié : il leur aurait fallu au moins une année de travail supplémentaire pour multiplier les mesures et confirmer leur ré-

UN SIGNAL EN DÉBAT

L'intensité du cœur de cette sphère lumineuse, photographiée à Harvard, signerait, selon ses auteurs, la présence d'hydrogène métallique.

Chronologie

1935 Selon E. Wigner et H. Bell Huntington, l'hydrogène se transformerait en cristal métallique au-delà de 0,25 million d'atmosphère (atm). **1958** Le million d'atm est dépassé : pas d'hydrogène métallique. **1989** Deux Américains atteignent 2,5 millions d'atm : rien. **2002** P. Loubeyre (CEA) voit l'hydrogène s'obscurcir, à 3 millions d'atm. **2017** I. Silvera et R. Dias auraient vu de l'hydrogène métallique, à 4,95 millions d'atm.

→ sultat... Au risque de se faire griller la politesse. *"La course est réelle"*, reconnaît Alexander Goncharov, également en lice à l'Institut Carnegie de Washington (Etats-Unis).

Une course à la pression... Car pour obtenir cette matière exotique, il faut des pressions supérieures à 4 millions de fois celle de l'atmosphère terrestre. Au-delà de celles qui règnent au centre de la Terre!

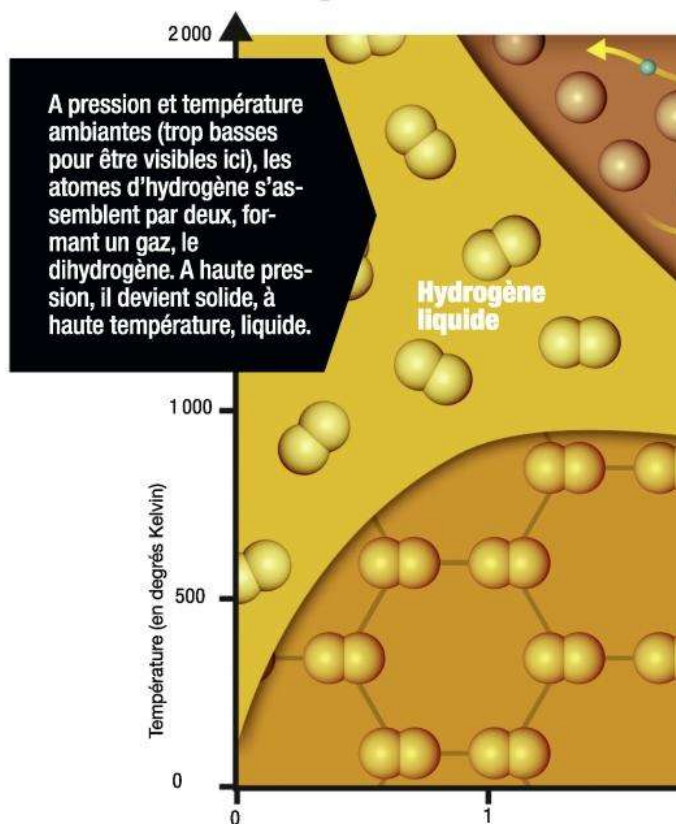
PRESSIONS TITANESQUES

Cette course débute en 1935 quand deux théoriciens, Eugene Wigner et Hillard Bell Huntington, prédisent qu'au-delà de 0,25 million d'atmosphères, un gaz d'hydrogène moléculaire devrait se transformer à basse température: les atomes d'hydrogène s'organiseraient pour former un réseau, et leur électron se libérerait pour se mettre à circuler. Un cristal métallique donc... dont les propriétés extraordinaires sont tout de suite fantasmées. Les physiciens se lancent dans la quête. Leur méthode: enfermer de l'hydrogène entre deux pointes de diamant, de 20 à 30 microns de diamètre, qui agissent comme deux mâchoires (les physiciens parlent d'enclume); puis compresser à la limite

de ce que chaque pointe peut supporter. La forme conique du diamant concentre alors les forces sur une surface très petite, multipliant la pression.

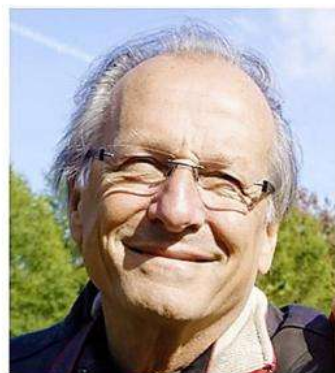
Une expérience toute simple qui s'est progressivement muée en défi titanesque, tant les difficultés s'additionnent à mesure que la pression augmente. Et l'hydrogène métallique joue les timides. Les physiciens ont dépassé les 2,5 millions d'atmosphères en 1989 sans voir se former la précieuse matière... Aujourd'hui, les équipes en course dépassent les 3 millions d'atmosphères – Isaac Silvera et Ranga Dias ont même annoncé avoir atteint 4,95 millions d'atmosphères. A ces pressions infernales, ils prévoient un joint pour que l'hydrogène reste confiné entre les pointes: *"On utilise du rhénium parce qu'il a une très grande résistance et que l'hydrogène ne diffuse quasiment pas dedans"*, précise Paul Dumas. Ils doivent éviter que les diamants, pourtant si solides, ne cassent en éliminant tout défaut de structure ou en les protégeant. Enfin, il leur faut pouvoir contrôler la pression au sein de l'échantillon. Pour cela, ils l'éclairent avec un faisceau laser, que la matière diffuse en décalant un

A très haute pression,



peu sa longueur d'onde – c'est "l'effet Raman", qui dépend de la pression. Sauf que le laser chauffe au passage le diamant et le fragilise. Toute mesure devient donc un coup de roulette russe qui peut casser le diamant.

C'est peut-être ce qui est arrivé à Isaac Silvera et Ranga Dias. Les chercheurs ont déclaré, le 11 février, qu'une ultime mesure avait réduit en poudre l'un de leurs diamants... emportant avec lui le précieux échantillon et la preuve supposée du nouvel état de la matière. Ils travaillent en ce moment à reproduire l'expérience. Dans l'urgence... car le dénouement est proche. Alexander Goncharov le prédit: *"L'hydrogène métallique devrait être obtenu d'ici deux à quatre ans."*

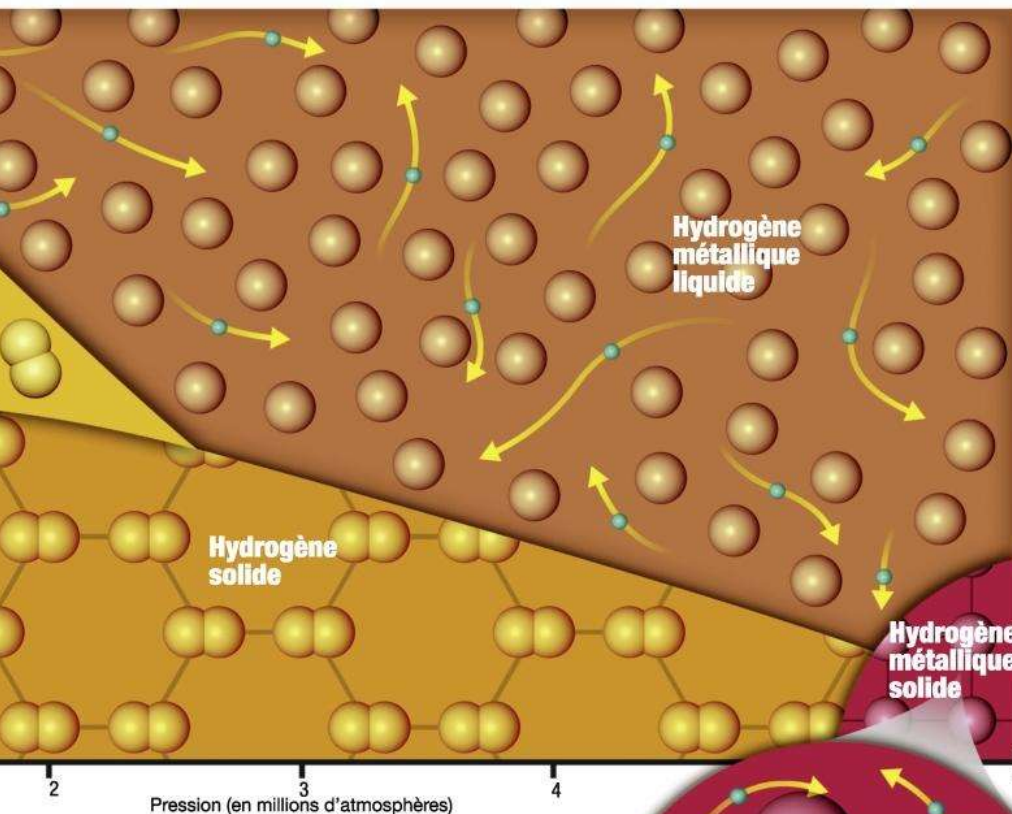


PAUL DUMAS

Physicien au synchrotron
Soleil de Gif-sur-Yvette

*On voudrait que la première
obtention d'hydrogène métallique
soit démontrée sans conteste*

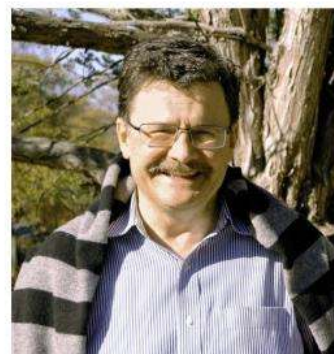
l'hydrogène se métamorphose



La théorie prédit qu'à très haute pression, les molécules de dihydrogène devraient se dissocier, et les atomes d'hydrogène s'organiser en réseau. Leur électron se mettrait alors à circuler, formant un cristal métallique aux propriétés extraordinaires.

Chaque équipe affûte ses diamants. "On s'est rendu compte que quand on compressait beaucoup, les pointes de diamant se bouchaient et se touchaient aux deux extrémités. C'est pour cela qu'elles cassent", observe Paul Dumas, lui-même en course avec Paul Loubeyre et Florent Occelli, au CEA. Ces derniers se sont demandé quelle serait la forme idéale de la pointe pour résister aux pressions extrêmes. "Elle a été trouvée il y a un peu plus d'un an : c'est

une forme torique", que les chercheurs façonnent en sculptant leurs diamants avec des faisceaux d'ions. Un premier essai, réalisé sur un échantillon d'or, a récemment permis de le porter à près de 6 millions d'atmosphères. "Mais la forme torique, qui était valable sur un matériau comme l'or, s'avachit beaucoup plus vite en présence



ALEXANDER GONCHAROV

Physicien à l'Institut Carnegie de Washington

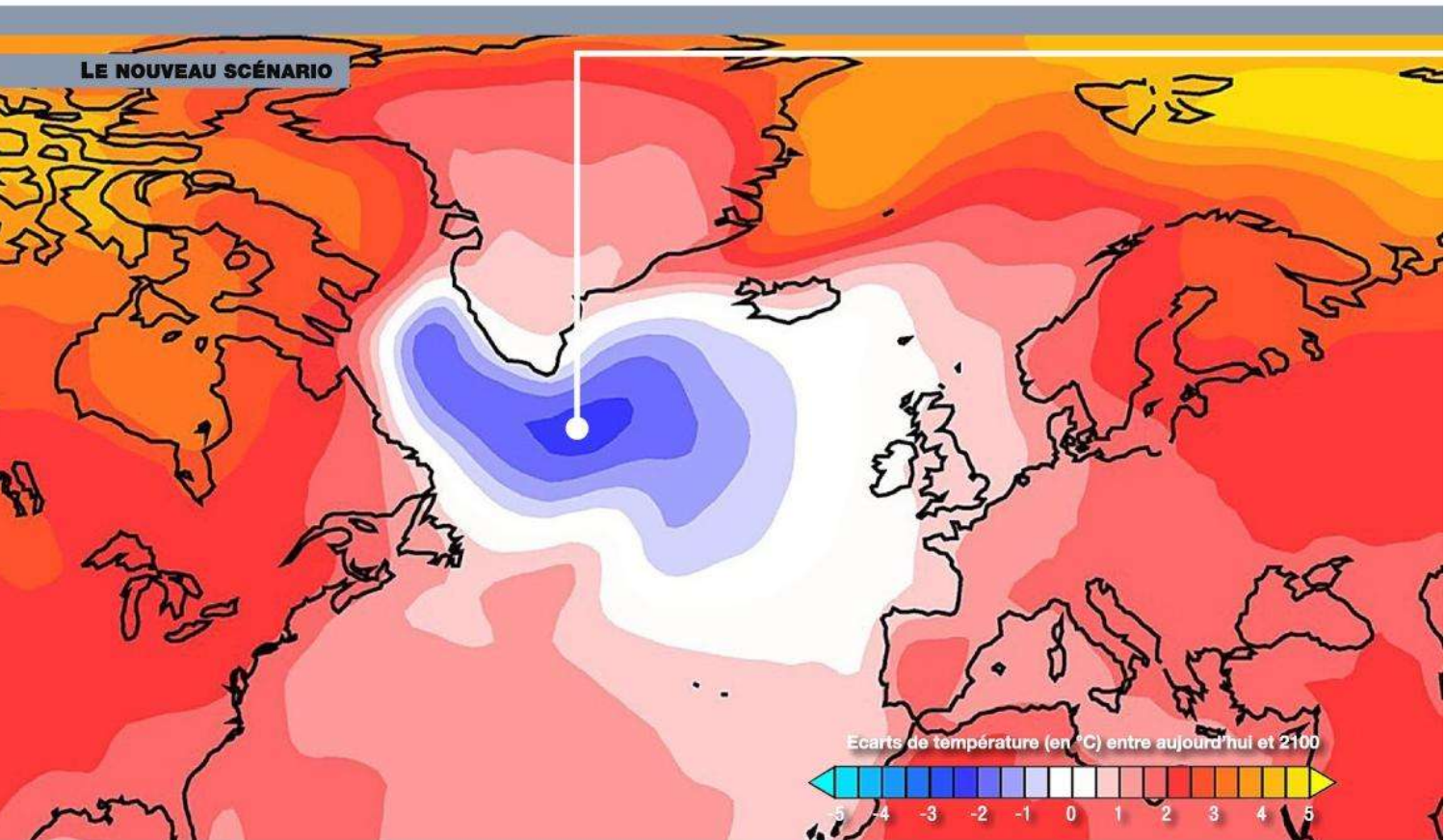
L'hydrogène métallique devrait être fabriqué d'ici deux à quatre ans

d'un joint avec de l'hydrogène", explique Paul Dumas. Les Français seront-ils les premiers à saisir le Graal ? Il leur faudra redoubler de rigueur. Car l'annonce d'Harvard a soudé la communauté autour d'une exigence : "On voudrait que la première obtention d'hydrogène métallique soit très rigoureusement démontrée, de façon incontestable, insiste Paul Dumas. Parce que ce sera le point de départ d'une très grande aventure."



A lire : la publication d'Isaac Silvera et Ranga Dias et les commentaires qu'elle a suscités.

science-et-vie.

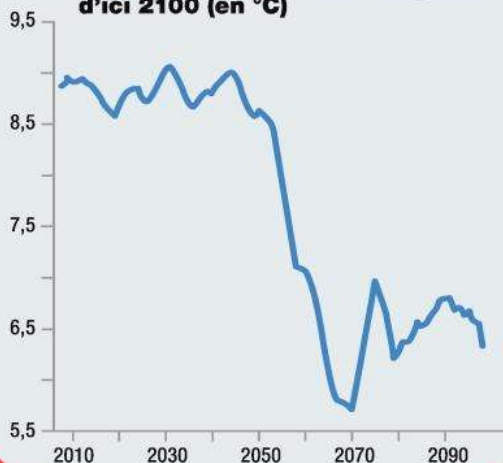


Réchauffement climatique

L'Europe à l'abri ?

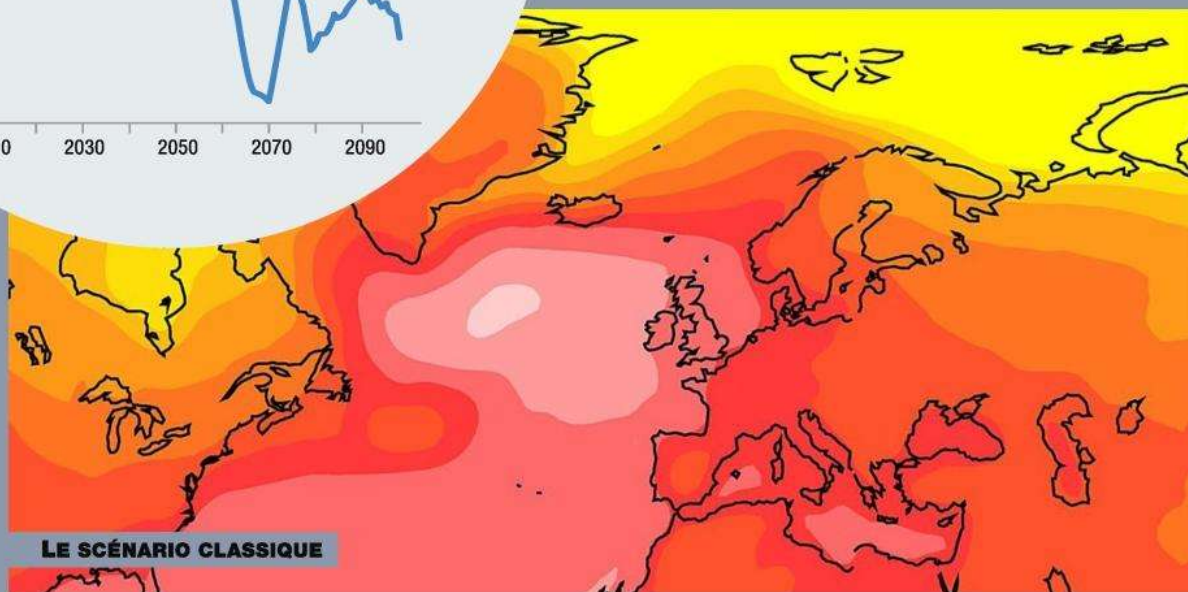
Contre toute attente, la façade atlantique du Vieux Continent pourrait connaître un brutal refroidissement d'ici quelques décennies. Une bonne nouvelle ? Pas si simple, met en garde **Yves Sciama**. Nous aurions même à redouter un double choc climatique.

Evolution de la température de la surface de la mer subpolaire d'ici 2100 (en °C)



UN SCÉNARIO TOTALEMENT INÉDIT

D'après les modèles, il y a une chance sur deux qu'un phénomène marin complexe s'enclenche dans l'Atlantique Nord, entraînant un refroidissement qui s'étendrait jusqu'à l'Europe occidentale (carte de gauche). Une évolution bien éloignée des scénarios habituellement annoncés par les climatologues (carte de droite).



LE SCÉNARIO CLASSIQUE

Et si le destin climatique de l'Europe occidentale était sur le point de basculer?

Et si, au lieu du réchauffement lent et régulier promis par les climatologues, tout le pourtour atlantique, et en particulier l'ouest de la France, subissait dans quelques décennies un violent refroidissement?

L'idée fait penser au *Jour d'après*, ce film catastrophe hollywoodien qui imaginait New York pris dans la banquise du jour au lendemain. Un scénario jugé délirant par tous les spécialistes du climat.

Ces derniers voient cependant apparaître depuis longtemps dans leurs modèles la possibilité de bouleversements climatiques régionaux dont la

radicalité s'oppose au réchauffement extrêmement progressif observé depuis un siècle. Ils ont même un terme pour cela : *"changements abrupts de température"*. Avec une définition précise : *"des variations de température de plusieurs degrés, survenant en moins de dix ans, sur une surface de plus d'un million de kilomètres carrés"*, d'après les mots de Giovanni Sgubin, climatologue à l'université de Bordeaux. Les carottes de glace du Groenland, qui remontent à 50 000 ans environ, ont déjà permis d'observer une vingtaine d'oscillations de température à la fois rapides, amples et localisées.

Or, selon l'étude publiée par Giovanni Sgubin et ses collègues en février, il y a presque

une chance sur deux qu'un tel phénomène se produise sur la façade ouest de notre continent au cours de ce siècle...

Tout va se jouer à plus de 3 000 kilomètres au large, dans la mer du Labrador, une vaste zone de l'Atlantique jouxtant la pointe sud du Groenland. Dans cette étendue glacée battue par les tempêtes – mais aussi en de nombreux autres endroits de l'Atlantique Nord –, les eaux



Contexte

Au sein de la communauté scientifique, le réchauffement climatique ne fait désormais plus de doute. L'inertie du phénomène est telle qu'il est urgent de commencer à adapter notre monde aux bouleversements qui l'attendent... sous réserve que le climat évolue dans le sens prévu par les modèles.

→ de surface issues d'un courant tiède (le fameux Gulf Stream) subissent un refroidissement brutal qui les fait couler vers les grands fonds – l'eau étant plus dense froide que chaude. C'est cette plongée des eaux (appelée "convection"), dont le débit est deux fois plus important que celui de l'Amazonie pour le seul Labrador, qui risque de s'interrompre...

1 OU 2 DEGRÉS... DE MOINS

Le risque est connu. Les études antérieures, basées sur 40 modélisations effectuées par différents laboratoires à travers le monde, mettaient en évidence de très fortes probabilités de détérioration générale de la convection dans tout l'Atlantique Nord, mais sur un mode graduel.

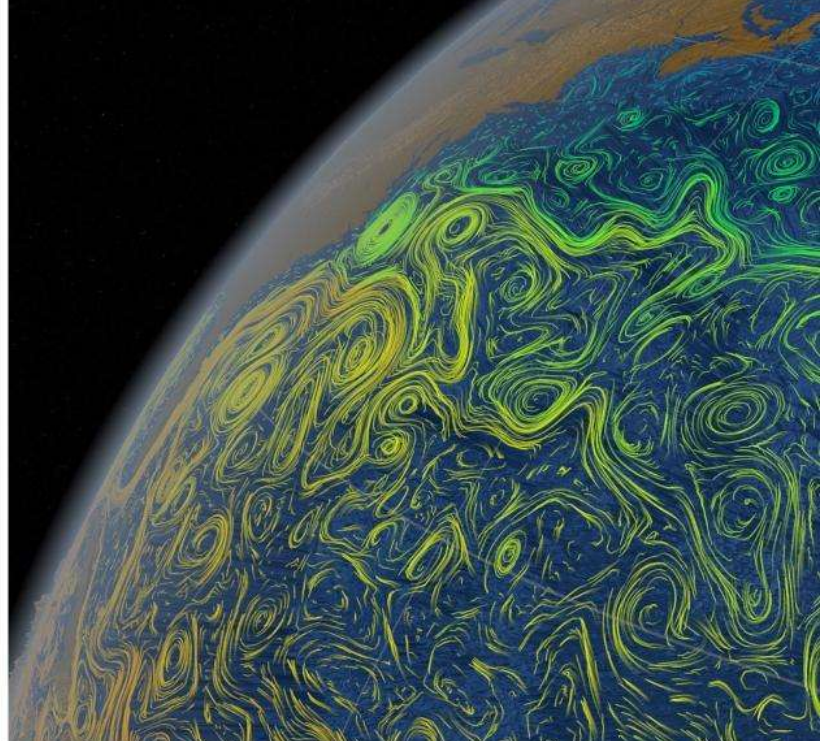
Seulement, la zone du Labrador est singulière. Comme l'indique Giovanni Sgubin, *"la carte de l'évolution mondiale des températures au cours du siècle dernier montre que la région au sud du Groenland est la seule zone du globe qui ne se soit pas réchauffée"* (voir carte, page de droite).

Du coup, les chercheurs ont

Tout l'écosystème serait impacté par une baisse brutale de la température

étudié ce que prédisent les 40 modèles existants pour cette région particulière, et découvert que 7 d'entre eux annoncent un arrêt de la convection locale au cours du XXI^e siècle. Avec un risque relativement sérieux de 17,5 %.

Parmi les 40 modélisations, ils ont sélectionné celles qui



reproduisent le mieux le comportement de l'océan. Plus précisément son profil vertical de densité, très important pour la plongée des eaux. Et là, surprise : sur les 11 modélisations qui passent le test de qualité... 5 prévoient un arrêt de la plongée des eaux avant 2100 ; le risque est alors de 45 % ! Selon ces modèles, le processus d'arrêt pourrait s'initier d'ici vingt ans, s'étaler sur à peine une décennie, et générer un refroidissement de toute la zone au sud du Groenland d'environ 3 °C. Il serait en outre irréversible.

Pourquoi un tel refroidissement ? Parce que cette plongée des eaux joue un rôle "d'aspirateur" à chaleur, d'une part en attirant vers le nord les eaux plus tièdes venues du sud, d'autre part en faisant remonter des eaux moins froides sous-jacentes.

Quelles seraient les conséquences pour les sociétés humaines ? Les modèles montrent qu'elles se concentreraient principalement sur la côte ouest du continent Europe (voir carte), avec une perte bru-

tales de 1 ou 2 °C. Ce qui est loin d'être négligeable : rappelons que le "petit âge glaciaire" qui a frappé l'Europe occidentale autour de 1600 correspondait à un refroidissement inférieur à 1 °C !

A première vue, ce phénomène peut sembler une bénédiction, le refroidissement local contrecarrant la tendance générale au réchauffement. *"Attention, un changement aussi brusque en une décennie, ce n'est pas anodin"*, prévient Giovanni Sgubin. Cela pourrait avoir un impact majeur sur une agriculture et des écosystèmes qui se seraient justement préparés à un réchauffement progressif sur le siècle à venir.

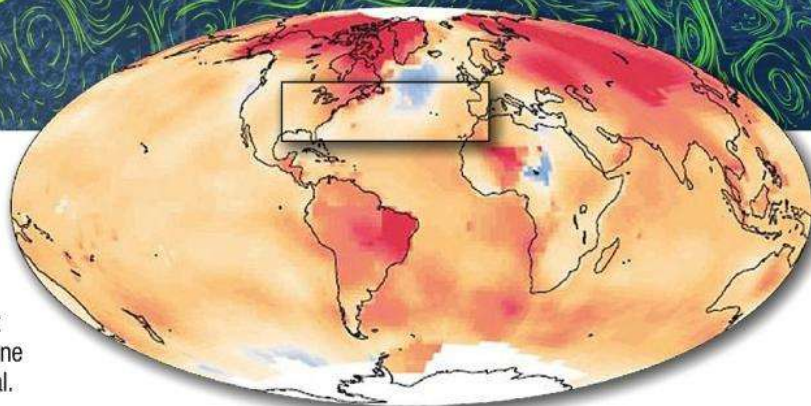
De plus, le Gulf Stream pourrait être très affaibli, ce qui altérerait les régimes de précipitations, avec un risque de sécheresses au Sahel plus élevé, et des conséquences imprévisibles sur les événements météorologiques extrêmes. Sans compter les conséquences sur l'écosystème marin en Atlantique Nord.

Surtout, s'il ne fait désormais guère de doute que la mer du



^> UN MAILLON FAIBLE QUI BOUSCULE LE MODÈLE

La carte du changement climatique depuis un siècle révèle une tache bleue en mer du Labrador, seule zone qui s'est refroidie alors que le monde s'est réchauffé presque partout ailleurs. Cette singularité pourrait être à l'origine d'un chaos imprévisible dans le climat mondial.



Labrador constitue le maillon faible de la convection dans l'Atlantique Nord, les autres zones où la plongée des eaux a lieu ne sont pas forcément tirées d'affaire.

Stefan Rahmsdorf, sans doute le meilleur spécialiste actuel des courants marins de l'Atlantique, note que *"le Labrador représente environ 30 % de la convection de l'Atlantique Nord. Or, ajoute le chercheur allemand, un article paru récemment souligne que ces zones présentent une convection sans doute beaucoup moins stable que prévu par les modèles. Mon propre travail montre que la convection totale a ralenti d'environ 15 % au cours du dernier siècle, alors qu'elle était restée à peu près constante depuis un millénaire"*. Le phénomène pourrait

donc être bien plus important que ce que Giovanni Sgubin et ses collègues ont décrit, avec une multiplication par un facteur deux ou trois de ses conséquences.

LA FIN DU GULF STREAM ?

La perspective d'un arrêt général est d'autant moins déraisonnable qu'aucun des modèles actuels ne prend en compte un facteur clé : la fonte du Groenland, bien plus rapide que prévu. Or, l'arrivée de ces énormes quantités d'eau douce augmente le risque d'arrêt généralisé de la convection.

Au final, résume Stefan Rahmsdorf, *"les preuves s'accumulent que la convection au Labrador est beaucoup plus fragile que prévu, et que la probabilité que la convection dans le reste de l'Atlantique Nord*

s'arrête brusquement dans les prochaines décennies n'est pas du tout négligeable".

De plus, la fin du Gulf Stream (dont la convection est un moteur) réduirait considérablement l'élimination naturelle par l'océan d'une partie de nos émissions de CO₂, car la plongée d'eaux depuis longtemps exposées à l'air enfouit d'énormes quantités de gaz à effet de serre. Ce qui accélérerait le réchauffement, et pourrait nous rapprocher d'autres basculements du système, avec des impacts massifs sur les calottes glaciaires, la forêt amazonienne ou le permafrost.

C'est donc non seulement le destin climatique de l'Europe occidentale, mais peut-être aussi celui de toute la planète qui va se jouer là-bas, dans la mer du Labrador...



A lire : la dernière publication de Sgubin ainsi qu'un blog (en anglais) où le sujet est débattu entre climatologues.

science-et-vie.com



> EXPLORATEUR
DE LA CONSCIENCE
Au CHU Gui-de-Chauliac de Mont-
pellier, Hugues Duffau intervient
sur des zones que la neurochirur-
gie classique n'ose pas toucher.

“Neurochirurgie Eveillé, mon patient me guide”

En opérant le cerveau sans endormir, **Hugues Duffau** sonde les arcanes de la conscience. Comme jamais auparavant. Emmanuel Monnier s'est rendu au bloc.

Bienvenue dans les confins de l'esprit humain. Sous les lumières crues du bloc opératoire, ils ne sont qu'une poignée de chirurgiens, dans le monde, capables de sonder les limites du fonctionnement de notre cerveau.

Avec une minutie sans égale, ces médecins chevronnés plongent leurs instruments dans notre organe vital avec, en ligne de mire, une question fondamentale : quelle fraction du cerveau de mon patient puis-je amputer sans détruire ce qui définit son identité ? S'ils ont le pouvoir, tout autant que le devoir, de se la poser, c'est qu'il s'agit d'opérer, parfois de façon préventive, de graves tumeurs cérébrales. Pour tenter de sauver la vie des patients, ils doivent ôter, sans séquelle ou

presque, des portions de leur cerveau parfois aussi grosses qu'une orange.

A chaque opération, ils ouvrent ainsi une fenêtre d'observation exceptionnelle sur ce qui sous-tend notre mémoire, nos émotions, notre parole... et, plus profondément encore, notre conscience. Leur méthode ? La “neurochirurgie éveillée” : une opération avec un patient conscient dont on peut ainsi évaluer en direct les réactions et prévenir d'éventuels méfaits neurologiques liés à l'intervention.

L'occasion est unique de découvrir les réponses *in vivo* du cerveau humain. Et les découvertes de ceux qui repoussent les limites sont telles que les connaissances établies, en grande partie à l'aide de l'imagerie cérébrale, vacillent. Par

exemple, le modèle “localisationniste”, qui voudrait que chaque aire cérébrale remplisse une fonction bien déterminée, s'avère dans les faits largement remis en question. Sous le scalpel de ces nouveaux explorateurs, se dessinent surtout les contours d'une sorte de “cerveau minimal”, soit un groupe restreint de régions cérébrales irremplaçables pour percevoir comme pour penser le monde qui nous entoure.

Pour saisir cette révolution théorique venue des salles d'opération, nous sommes allés assister à une intervention menée par l'un des chercheurs les plus en pointe, le professeur de neurochirurgie Hugues Duffau. Au bloc du CHU Gui- ➔

Enjeu

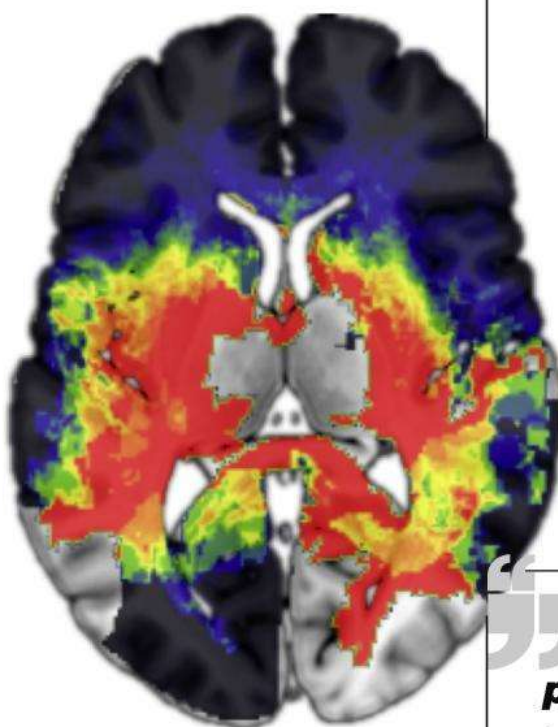
Depuis la fin du XIX^e s., chirurgiens et neurologues avancent ensemble pour comprendre la mécanique cérébrale. L'imagerie médicale leur a apporté un précieux éclairage, mais rien ne remplace l'observation *in situ* du cerveau humain... Repoussant toujours plus loin les limites, quelques neurochirurgiens tentent de dessiner une carte inédite du cerveau.

→ de-Chauliac, à Montpellier, la jeune femme allongée que nous croisons, ce matin, encore endormie, paraît fragile. Une tumeur lente envahit le cerveau de cette étudiante de 24 ans. Une tumeur d'une dizaine de centimètres de diamètre, située dans la région dite insulaire et le gyrus frontal inférieur, qu'il va falloir enlever, avec des tissus alentour.

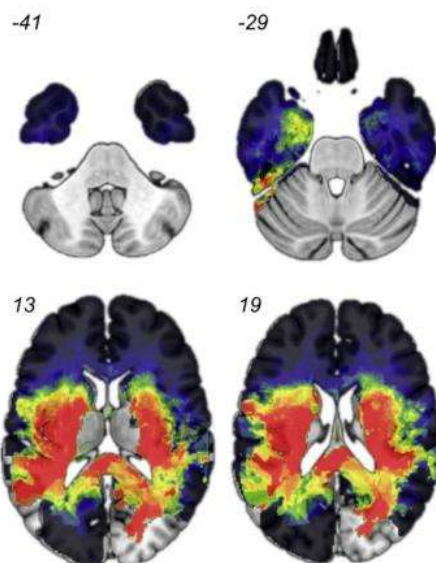
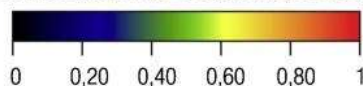
Les risques, Hugues Duffau les connaît par cœur. Il les affronte depuis des années. Mais il sait comment les contourner: en... réveillant la patiente avant de l'opérer. En parlant avec elle, masqué par un paravent, pendant que son bistouri enlève, l'un après l'autre, des lambeaux de sa cervelle infiltrés par la tumeur. Apaisons tout de suite une angoisse légitime: Maria ne ressent rien. Car le cerveau ne contient pas de récepteur de la douleur. Quant au crâne, il a été localement anesthésié. A ses côtés, le neuropsychologue Guillaume Herbet la tranquillise néanmoins. Le dialogue qu'ils vont mener ensemble, pendant l'opération, est essentiel. Car c'est lui qui va permettre au chirurgien d'enlever la tumeur sans altérer la personnalité.

OPÉRER EN DIALOGUANT

Le principe est simple: avant d'enlever quoi que ce soit, Hugues Duffau désactive pendant quelques secondes, à l'aide d'une petite sonde électrique, divers réseaux et zones du cerveau. Après chaque impulsion, le neuropsychologue vérifie, via des tests appropriés, si les fonctions cérébrales sont intactes. Si elles le sont, c'est que la zone correspondante peut être enlevée sans danger.



Probabilité d'altérer une fonction en cas d'ablation



Les zones sombres peuvent être partiellement ôtées

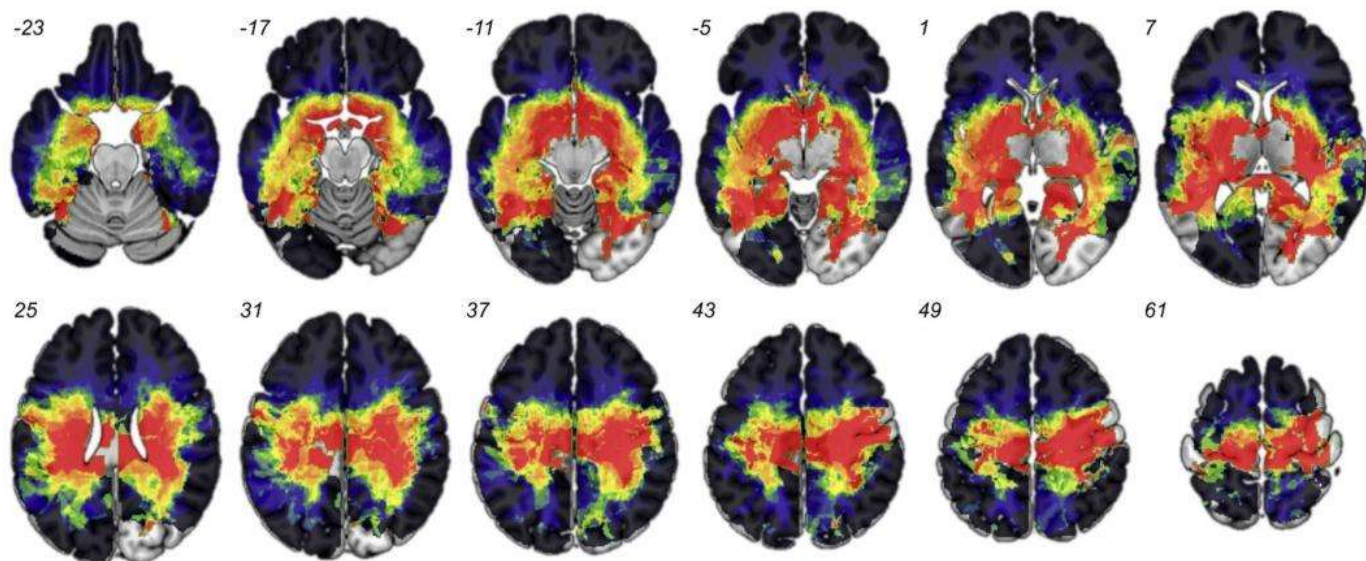
Avec près de 700 patients opérés, l'atlas du cerveau de Hugues Duffau commence à disposer d'une base solide. L'électrostimulation pratiquée durant les interventions de neurochirurgie a permis de différencier les zones sombres des zones rouges qui doivent, elles, être absolument préservées.

Pendant plus d'une heure, Maria va donc compter, puis voir défiler sur un écran d'ordinateur des séries de trois objets et désigner verbalement l'intrus, tout en levant régulièrement son bras et en serrant le poing lorsqu'on le lui demande. Elle devra reconnaître, sur des photos, si la personne est joyeuse, triste, en colère... et indiquer par une note de 1 à 6 son degré de certitude.

Des tests simples en apparence, mais qui permettent de vérifier un éventail complet de fonctions: langage, conscience de l'espace, cognition, motricité, reconnaissance des émotions et des états mentaux... Pendant ce temps, Hugues Duffau place des étiquettes à la sur-

face du cerveau pour délimiter les zones cruciales. Et enlève des morceaux gros comme des noix, creusant toujours plus profond dans la matière grise, jusqu'à atteindre les grands faisceaux de fibres qui, sous le cortex, constituent la matière dite blanche.

Ce qu'il réalise là est encore considéré par beaucoup de ses confrères comme impossible. Au nom d'une conception du cerveau que l'on doit à Paul Broca, un anatomiste du XIX^e siècle. Ayant observé que des patients, devenus muets, avaient une même lésion dans le lobe frontal gauche, il en avait déduit que cette région du cerveau, dès lors appelée "aire de Broca", était celle du →



→ langage. Et, par extension, que chaque fonction du cerveau (écrire, compter, mais aussi ressentir une émotion, etc.) était prise en charge par une région précise. Enlever cette région, c'est donc supprimer la fonction correspondante, comme on l'enseigne encore dans les facultés de médecine.

La tumeur de Maria étant située dans la région décrite comme le siège de la mentalisation, c'est-à-dire de la reconnaissance des états mentaux d'autrui, l'enlever devrait donc la rendre quasiment autiste. Or, malgré les portions de cerveau que le neurochirurgien extrait,

tex. Comme certains sont redondants, si vous en enlevez un, les autres compensent, à condition de préserver leurs connexions, au prix de conséquences dont le patient n'a pas conscience, comme un temps de réaction un peu plus long", explique-t-il. "L'aire du langage" cède donc sa place à une multitude d'épicentres, distribués en réseaux, qui peuvent s'interconnecter. "Un de ces épicentres peut très bien participer à la sémantique quand il est synchronisé avec A, et à la prosodie quand il est synchronisé avec B", poursuit Hugues Duffau, qui a depuis longtemps

logiste Agnès Trebuchon a été bluffée. "En stimulant avec une sonde électrique, on avait isolé une région qu'on ne pouvait pas traverser sans provoquer un déficit du langage. Lorsque le chirurgien est arrivé sur la lésion, il a stimulé une nouvelle fois pour confirmer qu'il ne pouvait pas l'enlever: il n'y avait déjà plus d'impact sur le langage", se souvient-elle. La production du langage s'était réorganisée d'elle-même durant l'opération!

UNE PLASTICITÉ MULTIPLE

Une incroyable réorganisation du cerveau qui peut aussi concerner des fonctions liées à la conscience de soi, comme l'introspection. Ainsi, l'imagerie cérébrale met en avant le réseau de "mode par défaut", qui s'active lorsque nous ne sommes engagés dans aucune tâche cognitive précise. Il connecte entre elles différentes zones pour faire surgir, spontanément, des images mentales, des souvenirs... Or, Hugues Duffau l'affirme: "Je l'ai souvent coupé et les patients ont aujourd'hui une vie normale."

Comment le cerveau configure-t-il de nouvelles routes? Est-ce que de nouvelles synapses, ces jonctions entre deux neurones, se créent, ou ne font-elles que renforcer leur capacité à communiquer? Agnès Trebuchon n'en est encore qu'au stade des hypothèses: "Pour l'instant, ce qu'on voit, ce sont des régions corticales qui s'activent alors qu'avant elles ne s'activaient pas."

Rapide et multiple, cette plasticité a cependant des limites. A l'image d'un réseau routier dont on barrerait au hasard différentes voies. Tant que l'on ne coupe que quelques dépar-



HUGUES DUFFAU

Les patients à qui j'ai coupé le réseau de mode par défaut ont aujourd'hui une vie normale

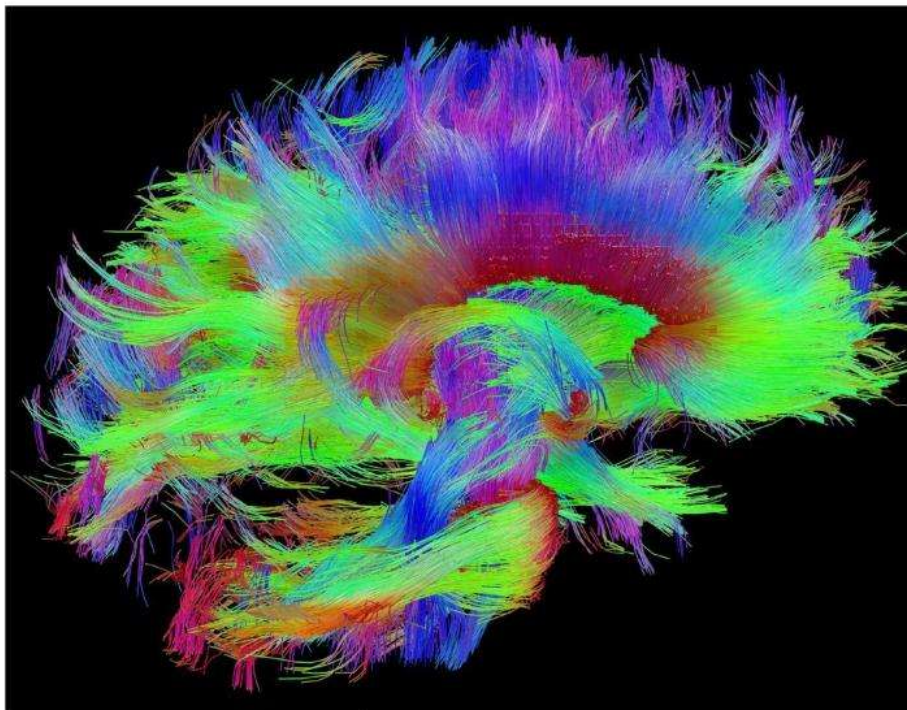
elle continue de reconnaître, sans erreur, les émotions des visages qu'on lui présente.

Si une région cérébrale peut être si facilement enlevée, c'est d'abord que les facultés mentales se construisent de façon beaucoup plus distribuée qu'on ne le pensait. Ainsi en est-il de la fameuse aire de Broca, que Hugues Duffau ampute régulièrement, sans pour autant enlever au patient la capacité de parler. "Dans le langage, il y a la syntaxe, la sémantique, la production de sons, etc. Pour parler, il faut donc synchroniser une multitude d'épicentres dans le cor-

jeté ses manuels universitaires obsolètes, pour s'appuyer sur ce que lui enseignent les heures passées au bloc.

Une autre image du cerveau se révèle alors, composée d'une myriade d'unités fonctionnelles reliées par des réseaux interconnectés. Qu'une voie nécessaire à une fonction soit coupée, et il continue malgré tout à l'assurer en contournant la route supprimée pour activer d'autres épicentres.

Cette réorganisation est parfois très rapide. A l'hôpital de La Timone, à Marseille, où l'on pratique aussi la neurochirurgie éveillée, la neurophysio-



tementales, les perturbations restent mineures; mais si l'on coupe une autoroute, la circulation est paralysée: le patient ne peut plus parler ou bouger. *"Non pas parce que la fonction serait localisée. C'est parce qu'en neutralisant les grandes fibres qui relient plusieurs zones corticales, vous les avez désynchronisées"*, insiste Hugues Duffau. C'est la synchronisation qui fait la fonction. Et l'important, pour préserver une fonction lors d'une lésion, n'est donc pas tant la matière grise (l'empilement de neurones qui constituent le cortex) que les grandes fibres (les réseaux autoroutiers qui, en dessous, les relient). Car leur capacité de réorganisation est très faible. Cette matière blanche, située en profondeur, est encore très mal connue des neurophysiologistes, qui se gardent bien d'y toucher. *"Avant la chirurgie éveillée, jamais on n'a eu le moindre accès à la fonction de ces fibres blanches pour les*

Les contours d'un "cerveau minimal"

Les neurophysiologistes modélisent sur ordinateur l'ensemble des connexions du cerveau, pour esquisser les grandes voies de communication entre les différents centres cérébraux. C'est en croisant ces simulations avec les observations anatomiques que l'on parviendra à mieux définir le "cerveau minimal".

inactiver de façon transitoire chez l'être humain", rappelle Hugues Duffau.

Lorsqu'il atteint, dans le cerveau de Maria, cette matière blanche, il a donc conscience que c'est le moment critique. Celui où le risque est maximal. Aussi, lorsque la jeune femme peine brusquement à reconnaître l'expression d'un visage, lorsque son bras se bloque, le neurochirurgien sait qu'il vient de toucher l'une de ces "autoroutes". Il n'insiste pas. Mais qu'elle ait eu conscience d'hésiter est pour lui capital. *"Elle a conservé la compréhension de ce qu'elle sait et ne sait pas"*, souligne-t-il.

Il reconnaît néanmoins qu'il ne savait pas, au départ, qu'il pouvait perturber des fonctions aussi subtiles. Jusqu'à ce que des tests élaborés par Guillaume Herbet révèlent chez certains, après l'opération, des changements de comportement passés inaperçus. *"Il y a une tendance à l'exacerbation de la personnalité, comme si le patient passait dans une version exagérée de lui-même"*, note Guillaume Herbet. Les tests de reconnaissance des émotions qu'il a mis au point font partie de cette volonté de conserver au maximum la personnalité globale du patient. L'étape suivante serait d'arriver à tester des fonctions encore plus abstraites, comme la créativité.

Et les souvenirs? *"Vous ne pouvez pas tester la mémoire à long terme au bloc opératoire. Ce sont des protocoles trop complexes"*, regrette Guillaume Herbet. La neurochirurgie semble avoir de toute façon peu d'impact sur les souvenirs anciens. *"Probablement parce qu'ils sont représentés de façon très distribuée dans le cortex"*, suppose le neuropsychologue. Toucher la région de l'hippocampe, qui encode les informations nouvelles, peut en revanche perturber sérieusement les apprentissages complexes.

ACCUMULATION DE DONNÉES

Quelles sont les parties du cerveau que l'on peut ainsi enlever facilement et celles pour lesquelles il va falloir redoubler de prudence? Pour y répondre, l'équipe d'Hugues Duffau réalise un atlas inédit de la plasticité cérébrale. Le principe est simple: il compte combien de fois, d'un patient à l'autre, ils ont pu enlever sans trouble une quelconque région

→ du cerveau. Il peut ainsi déterminer si telle zone cérébrale a 10 %, 30 % ou 90 % de chances de pouvoir être enlevée sans préjudice. Avec près de 700 patients opérés, l'atlas commence à disposer d'une base solide. Et permet déjà d'esquisser de grandes tendances.

D'abord, les régions sensorielles, celles qui récupèrent les données brutes, ainsi que les zones motrices sont moins

des éléments les plus essentiels sans lesquels un cerveau humain, quel qu'il soit, ne peut pas fonctionner. *"Il est assez proche d'une personne à l'autre, parce qu'il y a des contraintes anatomiques, avec d'un côté des cavités naturelles, de l'autre des noyaux gris, donc des montagnes à contourner pour amener les fibres, et à un moment donné des goulets d'étranglement*

Ces cerveaux en miettes qui défient la science

Combien sont-ils, qui mènent une vie ordinaire sans se douter qu'il leur manque un bout de cerveau ? Nul ne le sait. Mais certains cas, découverts lors de radios de contrôle, viennent eux aussi bouleverser les théories sur le fonctionnement cérébral (voir S&V n°1172) : cet homme qui n'a quasiment que du liquide dans la tête et dont le cerveau se résume à une mince couche de neurones compressée contre le crâne, cette femme qui n'a pas de cervelet, indispensable normalement pour apprendre et exécuter des mouvements coordonnés ou cet autre patient dont les deux hémisphères ne sont pas reliés normalement... En tout cas, ce sont de fantasmatiques preuves de l'adaptabilité du cerveau humain. C.T.

"enlevables" que celles qui correspondent à des traitements plus avancés de l'information, ce qui paraît assez logique : si on vous enlève l'acquisition des sons, vous aurez forcément du mal, malgré toute la souplesse dont vous pouvez faire preuve par ailleurs, à reconstituer un air de musique. L'autre constat, c'est que les régions les plus profondes, celles qui correspondent aux faisceaux de fibres qui relient les régions cérébrales entre elles, sont bien les moins compensables pour le cerveau.

Se dessine ainsi peu à peu, grâce à la neurochirurgie, un "cerveau minimal", constitué

qui font que ce sont les seules routes possibles", explique Hugues Duffau.

Parmi ces éléments essentiels se trouve le précunéus, l'un des nœuds les plus richement connectés. L'équipe s'est rendu compte que si elle désactivait un point très proche, la personne perdait conscience du monde extérieur. *"Un patient nous a dit qu'il avait eu la sensation de ne plus être dans la salle d'opération mais dans un rêve. Pour un autre, tout devenait noir",* précise Guillaume Herbet. Mais attention, *"il ne faut pas retomber dans le localisationnisme et dire que le précunéus est le centre de la*

conscience", même s'il est indispensable, prévient encore Hugues Duffau.

MODÉLISER LES CONNEXIONS

Peut-on aller plus loin dans la description de ce "cerveau commun" ? C'est l'objectif des grands projets de connectome, qui modélisent l'ensemble des connexions cérébrales. Comme celui de Sebastian Seung, à l'Institut des neurosciences de Princeton (Etats-Unis), qui découpe, microtranche par microtranche, année après année, le cerveau humain pour en reconstituer, grâce à de puissants ordinateurs, la totalité des connexions physiologiques, dans l'espoir de saisir ainsi *"l'essence d'une personne"*. Ou le Virtual Brain Project, coordonné à Marseille par Viktor Jirsa, qui modélise une centaine d'aires cérébrales interconnectées. *"Quand on pourra confronter ces connectomes aux données cliniques, ça commencera à devenir vraiment intéressant",* anticipe Guillaume Herbet.

Maria, elle, a des préoccupations plus concrètes. Fatiguée, elle s'est rendormie. Hugues Duffau laisse son assistant refermer le crâne. Quand elle se réveillera, elle sera surtout rassurée de constater que, malgré la grosse masse de cerveau qu'elle n'a plus, rien, en elle, n'a véritablement changé. Aux dernières nouvelles, Maria va bien...



A lire : *L'Erreur de Broca - Exploration d'un cerveau éveillé*, par Hugues Duffau, éd. Michel Lafon, 2016.

EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

& Science techniques

BOIS HIGH-TECH

86

CYBERPIRATAGE
MASSIF

94

ANIMAUX
GÉNÉTIQUEMENT
MODIFIÉS

98

Plus fort que le béton, plus léger que l'acier.

Contexte

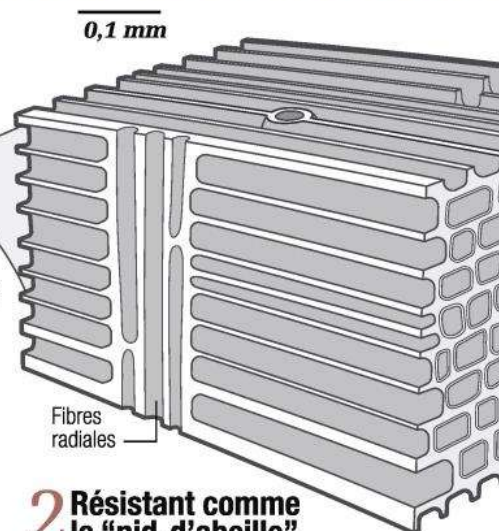
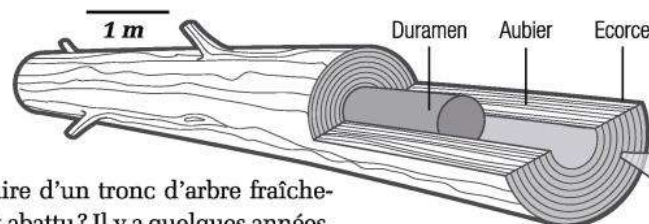
Les laboratoires mettent au point des matériaux toujours plus sophistiqués (bétons fibrés, nouveaux alliages, graphène, etc.), mais difficiles à produire. D'où le retour en grâce de matériaux naturels, beaucoup plus performants que l'on ne pourrait le croire.

A detailed microscopic view of wood grain, showing a complex network of cells and fibers in warm orange and brown tones. The texture is highly detailed, with various cellular structures visible.

LA REVANCHE DU BOIS

A close-up photograph of weathered wood, showing a rough, greyish-brown surface with deep grooves and textures, contrasting with the microscopic view of the wood grain.

Après un siècle de désamour, il fait aujourd'hui un retour en force dans les applications de pointe, allant de la construction à l'électronique. **Vincent Nouyrigat** nous explique pourquoi les qualités incomparables du bois pourraient faire de lui le matériau star du XXI^e siècle.



Que faire d'un tronc d'arbre fraîchement abattu ? Il y a quelques années, dans les bureaux d'ingénierie, la réponse aurait fusé avec une bonne dose de mépris : ces gros morceaux de bois évoquaient de jolis chalets suisses à rondins, d'élégants instruments de musique ou, pis, des containers de meubles bon marché ou de boîtes d'allumettes. Bref, rien de très innovant.

Aujourd'hui, le ton a changé. Il suffit de voir les chantiers en cours à Paris, Saint-Etienne, Angers, Dijon, etc. Ici et là commence à émerger, au moins sur les planches à dessin, l'ossature d'immeubles de grande hauteur... en bois. La France compte à ce jour trente-six projets, dont le plus audacieux, à Bordeaux, prévoit de dépasser les 50 mètres de hauteur pour 18 étages.

SA RÉSISTANCE À L'USURE LAISSE RÊVEUR

Des gratte-ciel en bois ? Cela paraît à peine croyable et, avouons-le, plutôt dangereux. Or, *"ce matériau est en train de devenir une évidence en génie civil"*, s'enthousiasme Bernard Thibaut, directeur de recherche au Laboratoire de mécanique et génie civil (université de Montpellier). Depuis le Grenelle de l'environnement, en 2007, le bois est certes largement vanté pour ses qualités environnementales : un mètre cube de bois transformé pour la construction stockerait environ 400 kg de CO₂ quand la fabrication du même volume de béton armé émet plus de 300 kg de ce gaz à effet de serre. Mais ce sont ses propriétés mécaniques qui se rappellent soudainement aux ingénieurs : *"Nous avons ressorti des tiroirs nos vieilles études de recherche fondamentale"*, s'amuse Meriem Fournier, directrice du Laboratoire d'études des ressources forêt bois.

Ces qualités intrinsèques, ainsi que les nouvelles techniques d'assemblage ou de traitement, laissent augurer des applications en mécanique de haute précision, en robotique, en électronique ou en chimie fine, jusqu'ici réservées à des matériaux high-tech très en vogue et à des produits issus de la pétrochimie (voir l'encadré p.91).

Au point que, dans les colloques scientifiques, certains se prennent désormais à envisager le

1 Précontraint comme le béton armé

Lors de la croissance de l'arbre, il se crée au sein du tronc des phénomènes de traction-compression qui permettent au bois de tenir droit et d'éviter les fissurations.

2 Résistant comme le "nid-d'abeille"

La structure cellulaire, souvent imitée par les ingénieurs, permet d'associer naturellement grande légèreté et forte résistance à la compression.

Des vertus insoupçonnées à toutes les échelles

bois comme le matériau du XXI^e siècle ! La fin d'une longue humiliation pour ce matériau à l'image rustique et vieillotte.

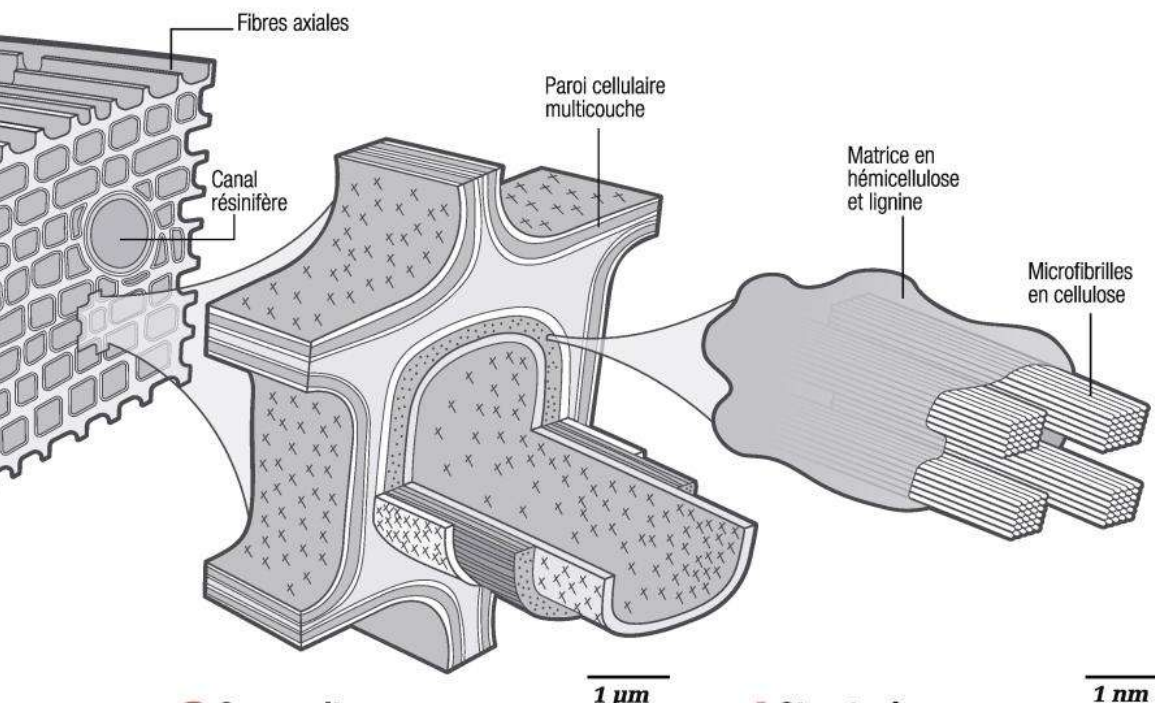
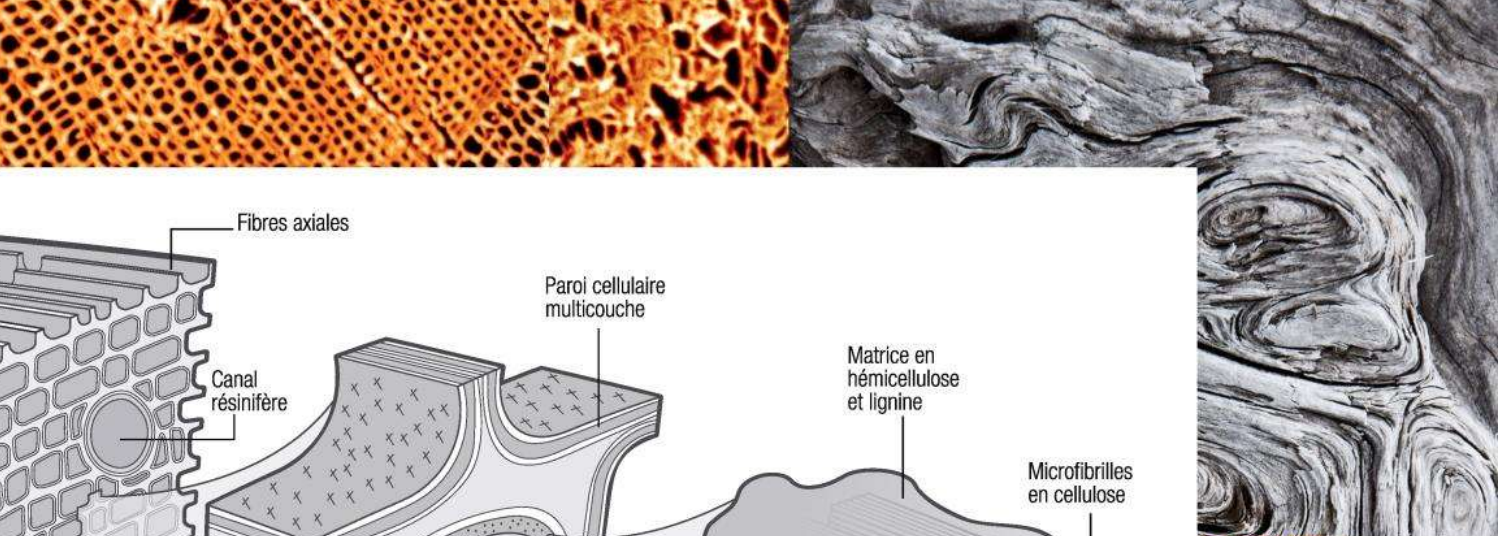
Béton, acier, aluminium, plastique... *"Le XX^e siècle a été un siècle noir pour le bois, rumine Bernard Thibaut. Songez qu'il a même été question de remplacer le chêne des tonneaux par des matières artificielles, un comble !"* Pour Joseph Gril, responsable du groupement de recherche CNRS en sciences du bois, *"il y a eu un excès*

d'engouement pour des matériaux qui ne méritaient sans doute pas autant d'égards. Il faut dire que, dans l'après-guerre, les reconstructions en urgence ont fait un usage massif du béton, dont la mise en

œuvre ne réclamait pas de savoir-faire particulier". Un choix compréhensible à l'époque. Mais de là à persister dans l'erreur...

Car, au-delà de ses avantages esthétiques et environnementaux évidents, le bois affiche des propriétés mécaniques remarquables. Des qua-

Concevoir des gratte-ciel en bois ne relève déjà plus de l'utopie



3 Composite comme le fuselage des avions

Le bois est fait de trois matières différentes (cellulose, hémicellulose, lignine) dont les propriétés physiques se complètent – à l'image de la fibre de carbone et de la résine Epoxy dans l'industrie.

4 Structuré comme les nanomatériaux

La pulpe de bois contient des nanocristaux de cellulose ainsi que des microfibrilles, qui lui confèrent, entre autres, une grande résistance mécanique.

lités qui tiennent au cahier des charges absolument infernal imposé par mère nature : à savoir, projeter des masses considérables de matière à parfois plus de 50 mètres de hauteur, le long d'une structure très élancée capable de résister à de redoutables conditions climatiques et agressions biologiques durant plusieurs siècles, tout en assurant une batterie de fonctions vitales comme la circulation de la sève. "C'est une véritable prouesse technique, qui serait très difficile et coûteuse à réaliser pour des ingénieurs", insiste Joseph Gril. Alors que ces troncs et ces branches poussent gratuitement avec de l'air, du soleil et de l'eau de pluie – au prix, il est vrai, de plusieurs décennies de patience.

Le secret du bois : un assemblage savant de fibres de cellulose, piégées dans une matrice de lignine et d'hémicellulose, garantissant grande solidité et légèreté extrême. Son rapport résistance mécanique sur densité est ainsi huit fois supérieur à celui de l'acier inoxydable. "Sur ce critère, il est meilleur que tous les autres maté-

riaux, même le Kevlar, souligne Frédéric Dubois, professeur au Groupe d'étude des matériaux hétérogènes (université de Limoges). Cela lui ouvre des possibilités architecturales énormes." Tandis que la résistance à l'usure de ce matériau naturel, sans cesse balancé par le vent, laisse rêveur : "Un ingénieur du fabricant d'hélicoptères Eurocopter nous a confié qu'ils avaient testé du bois par curiosité et qu'ils n'étaient pas parvenus à briser l'échantillon lors de leurs essais de résistance à la fatigue", témoigne Bernard Thibaut. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si les fabricants de vélos ou de skis de compétition continuent d'employer des pièces en bois pour résister aux contraintes vibratoires.

"Notre regard sur ce matériau ne cesse d'évoluer, lance encore le chercheur. Quand est apparu le béton armé, nous nous sommes rendu compte que le bois était aussi un matériau naturellement précontraint, tandis que les matériaux composites nous ont fait prendre conscience que le bois était un composite naturel. Puis ce fut

→ la vogue des composants en nid-d'abeille qui ressemblent étrangement à la structure cellulaire du bois, et maintenant l'engouement pour les nanomatériaux, qui nous rappellent que le bois est lui aussi nanostructuré" (voir infographie). Cette architecture complexe s'avère, pour l'heure, impossible à reproduire en laboratoire.

"Face à un matériau structurel aussi performant, écologique, économique, abondant, facile à transformer et à assembler, il serait parfaitement logique de l'utiliser en priorité quand il est pertinent", tranche Joseph Gril. "Le bois sera toujours la solution la plus légère", renchérit Bernard Thibaut. Les chercheurs en parlent presque avec des trémolos dans la voix. "J'ai beaucoup travaillé sur le béton et l'acier, mais j'ai une passion secrète pour le bois", confie Sabine Caré, chercheuse de l'équipe Matériaux et structures architecturées à l'école des Ponts.

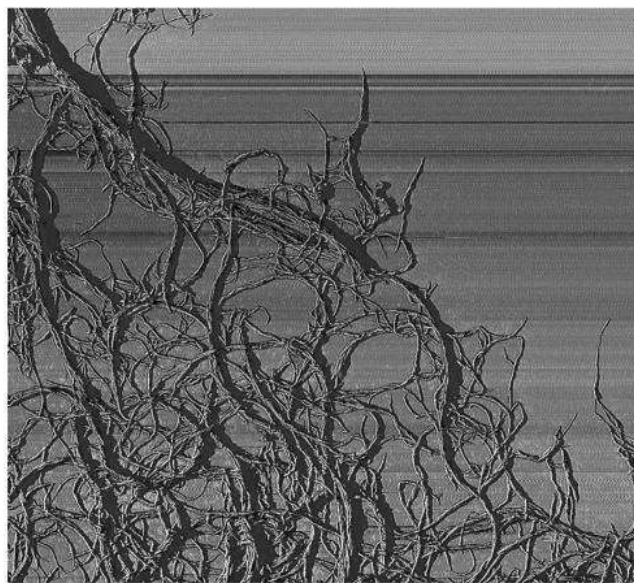
EN FINIR AVEC LES IDÉES PRÉCONÇUES

Pourquoi alors avoir fait couler autant de béton et d'acier au cours des cent dernières années ? Pourquoi autant d'indifférence, voire de réticence vis-à-vis du bois ? "On sent le poids des soupçons, par exemple, sur les nouveaux ponts en bois qui assurent le passage de la faune au-dessus des autoroutes, soupire Frédéric Dubois. C'est profondément injustifié, quand on pense que certains de ces ouvrages sont dimensionnés pour supporter le chargement extrême de véhicules de plus de 50 tonnes."

Mais les réserves des ingénieurs peuvent se comprendre : à la différence des produits manufacturés, chaque arbre affiche des propriétés différentes et des singularités anatomiques. Pour un même spécimen, les capacités mécaniques peuvent varier du simple au triple. Et puis, "le bois pâtit de nombreux préjugés tenaces : le bois ça brûle, ça pourrit, ça casse...", fait observer Bernard Thibaut. Autant d'idées préconçues ou d'obstacles véritables que sont en train de lever en ce moment les chercheurs.

Le bois brûle ? "S'il est évident que le bois est un matériau combustible, nous disposons désormais de moyens techniques – matériaux protecteurs ou architectures – permettant de limiter

Le bois brûle, casse, pourrit ? On peut désormais y remédier



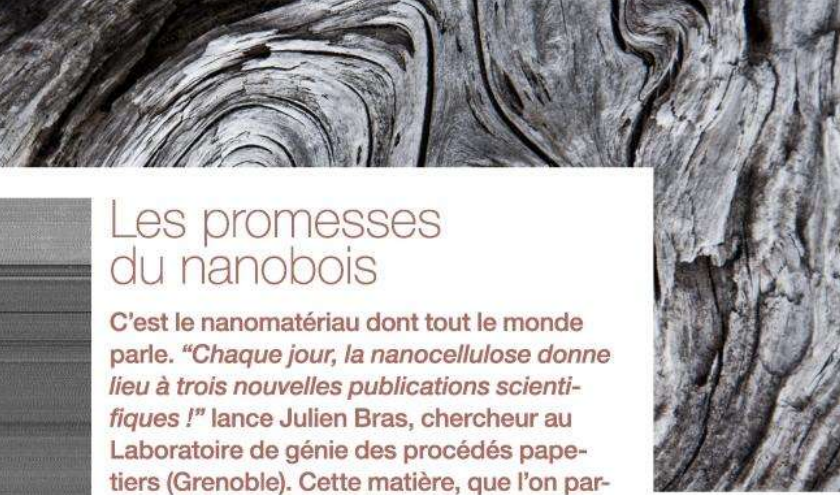
△ On peut désormais extraire de la pulpe de bois plusieurs tonnes de ces microfibrilles de cellulose par jour.

l'embrasement et la propagation du feu par la façade des immeubles, indique Stéphane Hameury, du département Sécurité structure et feu du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). Il n'y a pas de doute sur le fait que les structures en bois bien conçues sauront répondre aux exigences réglementaires des bâtiments de grande hauteur. D'autant plus que le bois attaqué par le feu présente une très grande stabilité structurelle, permettant aux services d'incendie d'intervenir dans des conditions

maîtrisées." Sous l'effet de l'incendie, il se forme en effet à la surface du bois une couche de carbonisation qui l'isole de l'oxygène de l'air et des hautes températures, quand l'acier fond comme du chewing-gum et que le béton éclate. Les essais menés depuis 2009 par

le CSTB ont achevé de convaincre pompiers et assurances.

Le bois pourrit ? Ce matériau noble craint en effet l'humidité, les champignons et certains insectes. Mais il n'y a là aucune fatalité : de nombreux procédés de traitement thermique et chimique ont été proposés ces dernières années. "Nous avons mis au point un traitement à base d'huile de colza qui confère au bois une durabilité digne de l'acier inoxydable !, jure



Les promesses du nanobois

C'est le nanomatériau dont tout le monde parle. *"Chaque jour, la nanocellulose donne lieu à trois nouvelles publications scientifiques !"* lance Julien Bras, chercheur au Laboratoire de génie des procédés papiers (Grenoble). Cette matière, que l'on parvient à extraire massivement de la pulpe de bois depuis moins de dix ans, se présente sous deux formes : des cristaux et des fibres. *"Les nanocristaux ont des capacités de résistance mécanique bien supérieures à celles de la fibre de verre et devraient servir à renforcer certains plastiques"*, signale Julien Bras. Plusieurs travaux ont été engagés sur des pièces automobiles ou aéronautiques, des supports de circuits électroniques ou de cellules photo-voltaïques. Plus intéressant encore, poursuit le chercheur, *"ces cristaux s'auto-organisent et la structure adoptée donne à l'ensemble une couleur particulière, ce qui laisse augurer des applications en optique, en systèmes anti-contrefaçon et autres matériaux intelligents"*.

De leur côté, les nanofibres ont des qualités protectrices idoine pour les emballages alimentaires, des propriétés structurales idéales pour piéger d'autres molécules et les restituer (pansements, batteries, catalyseurs) et surtout de fortes capacités de stabilisation des émulsions qui promettent d'être très utiles dans la mise au point d'encres, de peintures ou de cosmétiques. *"La gamme d'applications est très large, et ce matériau abondamment disponible dans la nature dispose déjà d'une vraie crédibilité industrielle"*, tranche Bernard Cathala, du laboratoire Biopolymères, interactions et assemblages (Nantes). Enfin, à la différence des autres nanomatériaux, ce polymère de glucose ne semble pas poser de problème sanitaire : plusieurs études menées au Canada sur des larves de poisson montrent une toxicité négligeable, comparable à celle du sel de table.

Carlos Vaca-García, professeur au Laboratoire de chimie agro-industrielle (Toulouse). *Après des essais de vieillissement accéléré correspondant à 120 ans de durée de vie dans les pires conditions, nos panneaux n'avaient pas bougé d'un millimètre.* Il n'est pas non plus interdit de choisir des essences quasi imputrescibles comme le chêne et le robinier, ou de faire des choix architecturaux permettant à l'eau de s'évaporer ou de s'égoutter pour éviter l'humidité stagnante ; après tout, le bois réagit à l'humidité comme l'acier est sensible aux



différences de température. Tout bâti en bois n'est donc pas condamné à disparaître en quelques décennies, comme en témoignent plusieurs ponts en bois bâtis en Autriche au XVII^e siècle, l'église Stavkirke érigée au XIII^e siècle en Norvège et les structures porteuses du temple japonais d'Horyu-ji, fort de 1 300 ans d'existence.

Le bois casse ? Il est possible d'y remédier : les immeubles de grande hauteur sont réalisés aujourd'hui grâce à de nouveaux systèmes constructifs, notamment le lamellé-croisé. Cette technique consiste à assembler perpendiculairement des lames de bois massif par collage, avec pour résultat des panneaux aux dimensions jusqu'ici inédites pouvant jouer le rôle de murs porteurs. Au passage, soulève Clément Boudaud, chercheur à l'Ecole supérieure du bois (Nantes), *"les assemblages en bois, légers et ductiles, ont d'excellentes propriétés antisismiques"*. Beaucoup de logements reconstruits dans la région sinistrée de L'Aquila, en Italie, se font d'ailleurs en bois – même si les grands immeubles en bois posent encore des problèmes de confort acoustique et d'oscillations inconfortables dans les derniers étages, en raison de la légèreté de la structure.

UN "BOIS ARMÉ" IMPUTRESCIBLE

Les idées ne manquent pas pour améliorer encore les performances en tablant sur de nouveaux modes d'assemblage, voire en restructurant le bois et en purgeant ses défauts. Exemple : la start-up française Woodoo propose d'injecter dans les 60 % de vide contenu dans le bois des polymères afin de créer un "bois armé" imputrescible. D'autres ingénieurs misent sur des systèmes alliant bois, béton et acier pour un futur immeuble de 42 étages à Chicago. Les essais réalisés à l'université de l'Oregon sur un plancher en bois assorti d'une fine couche de béton armé montrent des résistances à des charges huit fois supérieures à celles requises.

Hors génie civil, les initiatives sont encore timides mais évocatrices. *"On trouve de plus en plus de composites fibres de bois-plastique dans les pièces automobiles"*, se félicite Bernard Thibaut. Plusieurs laboratoires planchent sur des segments de robots industriels en chêne ou en hêtre au lieu des habituels tubes en composite carbone stratifié.

→ La gamme des possibles s'étend peu à peu. Les grands papetiers scandinaves et canadiens se transforment en incubateurs de start-up. En France, une cinquantaine de nouvelles thèses sont lancées annuellement sur ce matériau – contre une ou deux seulement au début des années 1980. Une communauté tricolore de 400 chercheurs y croit maintenant dur comme fer, et 200 nouveaux ingénieurs spécialisés sortent chaque année d'écoles dédiées.

Reste à faire du bois un produit industriel fiable à grande échelle. *“Le classement des*

Colossal, aussi, au vu de la complexité sans égale de ce matériau. *“Nous savons très peu de chose sur la propagation des fissures dans le bois”,* reconnaît ainsi Frédéric Dubois.

LA MYSTÉRIEUSE CHIMIE DES TRONCS D'ARBRES

Autre mystère, plein de promesses: la chimie des troncs d'arbres. *“Chaque espèce contient dans son bois de cœur 50 à 100 molécules bio-actives aux fonctions très diverses de répulsion, d'attraction, d'inhibition cellulaire, d'antioxyda-*

tion..., éclaire Bernard Thibaut. Le vivier pour la chimie fine est considérable avec 30 000 essences d'arbres dans le monde, et ce domaine de recherche est totalement ouvert.”

Certains pourraient penser que ces chercheurs en font trop. *“Nous ne sommes pas des ayatollahs du bois! rétorque Clément Boudaud. Il y a des domaines où le bois ne sera jamais très performant, comme en flexion ou en traction perpendiculaire. L'acier est plus adapté à certaines applications. Il n'est pas question de tout construire en bois...”*

Au vrai, personne n'est dupe: pour convertir massivement la France, il faudra tailler des croupières à des géants tricolores du béton, comme Bouygues ou Lafarge; il faudra aussi dépasser les

La forêt française, une richesse sous-exploitée

La France est une grande puissance forestière qui s'ignore. Exode rural aidant, la superficie du couvert forestier a augmenté de 80 % depuis le milieu du XIX^e siècle. Résultat, avec 2,7 milliards de mètres cubes sur pied, notre patrimoine forestier est le plus abondant d'Europe. Un potentiel à peine exploité: actuellement, seule la moitié de la croissance annuelle de ces massifs est coupée. *“Il faudrait déclencher un vrai projet forestier à l'échelle nationale, estime Meriem Fournier. Et trouver des usages aux feuillus (chêne et hêtre) qui peuplent majoritairement nos forêts quand l'industrie fait appel aux résineux, plus légers et réguliers.”* Il ne s'agirait pas de tronçonner à tout-va, mais d'entretenir les forêts de manière durable.

planches selon leurs singularités et la taille de leurs nœuds se faisait jusqu'ici à l'œil nu, rappelle Clément Boudaud. On voit apparaître désormais des techniques de caractérisation poussées comme le scanner à rayons X, la spectroscopie infrarouge ou les analyses vibratoires.” L'imagerie et la modélisation du bois sont des axes de recherche aujourd'hui très actifs. *“Nous devons nous donner les moyens de dresser la fiche technique de chaque planche, intégrant toutes ses caractéristiques mécaniques, insiste Bernard Thibaut. De sorte que les logiciels des grands industriels puissent prendre en compte le bois comme un candidat éligible pour telle ou telle pièce d'une aile d'avion, par exemple. Ce n'est pas utopique, même si le travail s'annonce colossal pour caractériser ne serait-ce que les 1 600 essences répertoriées en France, Guyane incluse.”*

craintes des ingénieurs ou des chercheurs car, consent Joseph Gril, *“ce matériau naturel constitue un défi intellectuel pour ceux qui sont habitués à être les concepteurs de leur propre matériau, dont ils ont contrôlé toutes les propriétés”.*

A défaut d'être un matériau miracle, le bois gagne petit à petit le respect au milieu de milliers de variétés de béton, d'acier et de plastique. Un retour en grâce au doux parfum de revanche.



A consulter : les sites et projets illustrant les possibilités du bois.

A voir : un cours sur l'anatomie du bois.

★
EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

RÉUSSIR À L'ÉCOLE

Les leçons des
neurosciences

Élèves
Les Français
sont-ils vraiment
si mauvais ?

Professeurs
Leur pédagogie
est-elle à revoir ?



**Comment notre
cerveau apprend**

EN VENTE ACTUELLEMENT

Code Mirai

La nouvelle bombe des hackers

D'inoffensifs objets du quotidien transformés en redoutable cyberarmée via un code informatique malveillant ? **Vincent Nouyrigat** révèle pourquoi ce scénario de cauchemar est à prendre très au sérieux.

Quelqu'un est en train d'apprendre à détruire internet." Ces propos alarmants auraient pu venir d'un énième pseudo-expert paranoïaque vendeur d'antivirus. L'avertissement, publié le 13 septembre dernier, émane en fait d'une des figures les plus sages et respectées de la cybersécurité, Bruce Schneier. Le cryptographe américain ne croyait peut-être pas si bien

dire : quelques jours après sa déclaration fondée sur la détection de quelques comportements suspects, une vague d'attaques d'une ampleur sans précédent se déchaînait sur le web (voir pages suivantes). Une série toujours en cours, qui fait peser une menace existentielle sur n'importe quel site ou service relié au réseau mondial. Car les hackers ont de toute évidence mis la main sur une nouvelle arme – une arme de destruction massive.

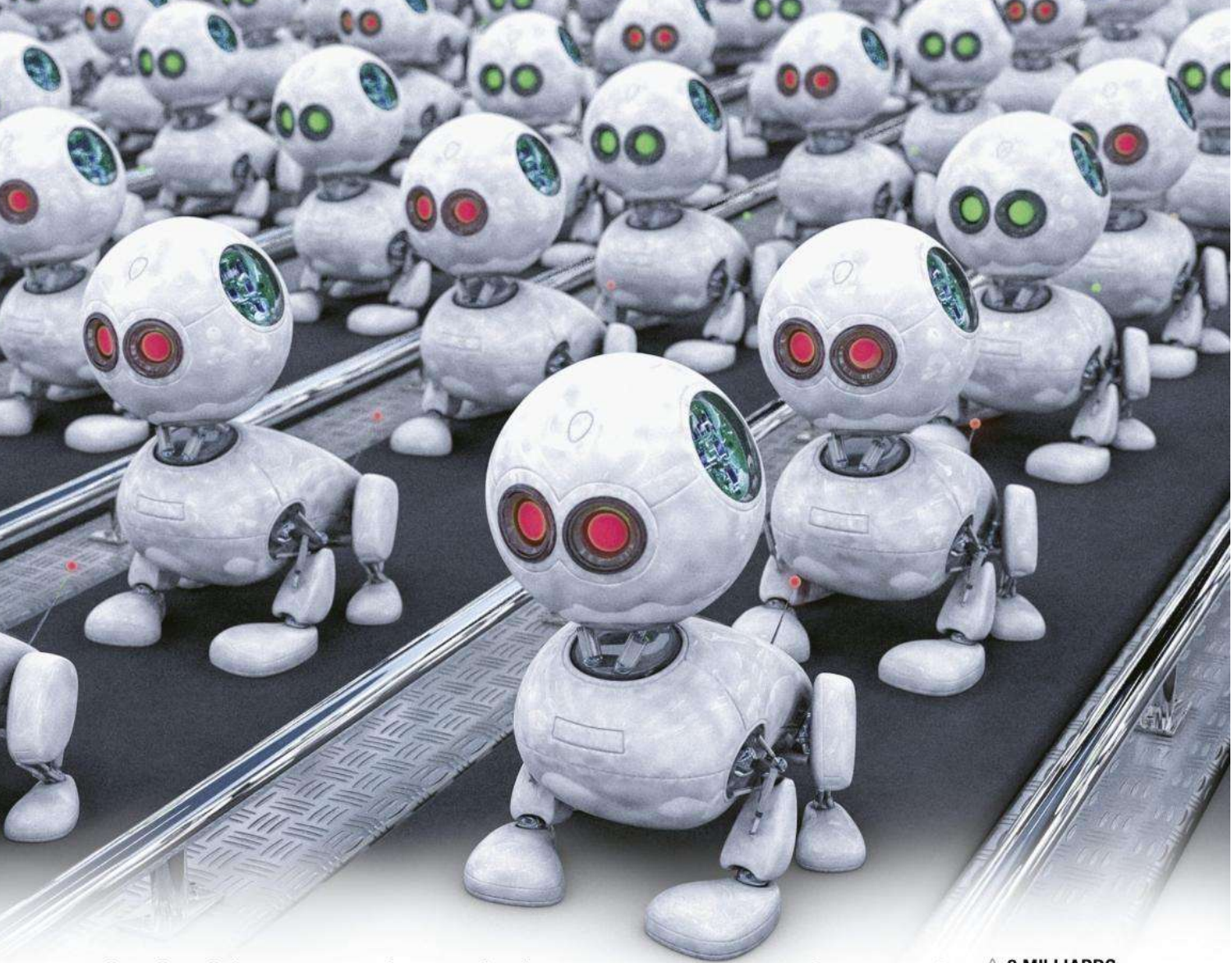
Son nom : Mirai, qui signifie – hélas – "avenir" en japonais. En soi, ce code informatique malveillant n'a rien de bien sophistiqué. Et sa stratégie est connue depuis des lustres : le déni de service, pratiqué communément par les pirates capables de prendre le contrôle de quelques milliers d'ordina-

teurs mal protégés pour submerger de requêtes un site choisi à l'avance. Du très banal... A ceci près que les attaques provoquées par Mirai atteignent des débits jamais vus sur internet : "On parle d'un téraoctet par seconde. C'est colossal, alors que les attaques classiques se font à quelques centaines de mégabits – soit dix mille fois moins", souffle Yves Verhoeven, de l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information. Des assauts capables de tout foudroyer sur leur passage, à l'image de celui subi, le 21 octobre dernier, par des serveurs de DynDNS, un prestataire ultra-protégé qui assure des services essentiels pour plusieurs



Repères

Internet est devenu un réseau d'objets connectés. Ces derniers sont désormais au nombre de 8 milliards (webcams, montres, appareils de domotique...) pour seulement 2 milliards d'ordinateurs. Les estimations annoncent pour 2020, selon les sources, entre 20 et 50 milliards de ces objets reliés au réseau.



pilliers du web (Twitter, eBay, Netflix, PayPal, Amazon Web Services, etc.).

Et pour cause, les attaquants ont mobilisé grâce à Mirai les ressources de centaines de milliers, voire de millions de... caméras de surveillance, webcams de particuliers ou enregistreurs vidéo domestiques transformés en zombies.

PAS DE SÉCURITÉ DANS L'INTERNET DES OBJETS

Voilà la nouvelle force de frappe des hackers : votre montre ou bracelet connecté, la tablette du petit dernier, le nounours interactif, la webcam, le babyphone, la box TV-internet-téléphone, la console de jeu, la pompe à insuline,

le pacemaker, l'imprimante de bureau mais aussi les nouveaux frigos, grille-pain, thermostats, ampoules, détecteurs de fumée, alarmes, cafetières ou même vibromasseurs désormais reliés au réseau. Autant d'objets du quotidien à l'apparence inoffensive, mais incroyablement faciles à transformer en cyberarmes – beaucoup plus que nos ordinateurs actuels et même nos smartphones.

“Dans le monde de l'internet des objets, il n'y a pas de sécurité, il n'y a pas d'antivirus, il n'y a même pas la pratique, pourtant courante ailleurs, de changer les mots de passe par défaut”, soupire Jens Müller, chercheur en informatique

à l'université de Ruhr-Bochum (Allemagne). Il aura donc suffi à Mirai d'intégrer à son code une batterie de login et de mots de passe intégrés d'office par des constructeurs peu imaginatifs (“admin”, “123456”, “password”...) pour mettre en marche une armée pléthorique d'objets. Ouverts à tous les vents, accessibles via des mots de passe presque jamais modifiés par les utilisateurs, ces appareils ne sont de surcroît jamais mis à jour après la découverte d'une vulnérabilité, faute de la moindre équipe ou infrastructure dédiée à cette tâche.

En clair : l'internet des objets ne tient aucun compte des le-

8 MILLIARDS D'ENNEMIS POTENTIELS

Scannant le web à l'aide de moteurs de recherche, les hackers repèrent les objets vulnérables qu'ils pourront lancer à l'attaque de n'importe quel site ou service relié au réseau, y compris des infrastructures vitales.

→ cons tirées ces trente dernières années en cybersécurité. Les constructeurs préfèrent arriver les premiers sur les étals des grandes enseignes avec le produit le moins cher, le plus pratique, doté d'une autonomie suffisante... alors que la sécurité coûte cher, embête tout le monde et consomme de l'énergie. En attendant, peut-être, des normes plus strictes.

UNE SIMPLE PRISE ÉLECTRIQUE

Mais le mal est fait : plus de 8 milliards d'objets connectés seraient déjà reliés à internet. *"Il y a une tendance déplorable à tout connecter au réseau public, y compris des usines, pour des raisons de surveillance ou de maintenance à distance... Les développeurs font parfois preuve d'une telle irresponsabilité !"*, fulmine Stéphane Bortzmeyer, ingénieur à l'Association française pour le nommage internet en coopération. De véritables moteurs de recherche permettent de scanner le réseau en quelques heures à la recherche d'appareils vulnérables. *"Nous avons repéré sur le réseau public un million d'automates industriels*

UNE SÉRIE D'ATTAQUES QUI PRÉFIGURE LE PIRE?

MARDI 13 SEPTEMBRE 2016

Le blog de Brian Krebs, journaliste américain spécialiste de la cybercriminalité, subit la première attaque du code Mirai et de son armée d'objets connectés. Son site reçoit un débit malveillant de 665 gigabits par seconde, deux fois supérieur à celui des pires attaques de déni de service enregistrées jusqu'ici.

programmables Siemens ou Schneider, dont ceux d'un petit barrage hydraulique, lance Abdelkader Lahmadi, ingénieur au Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications. Notre équipe a aussi décelé des campagnes de repérage d'appareils médicaux connectés."

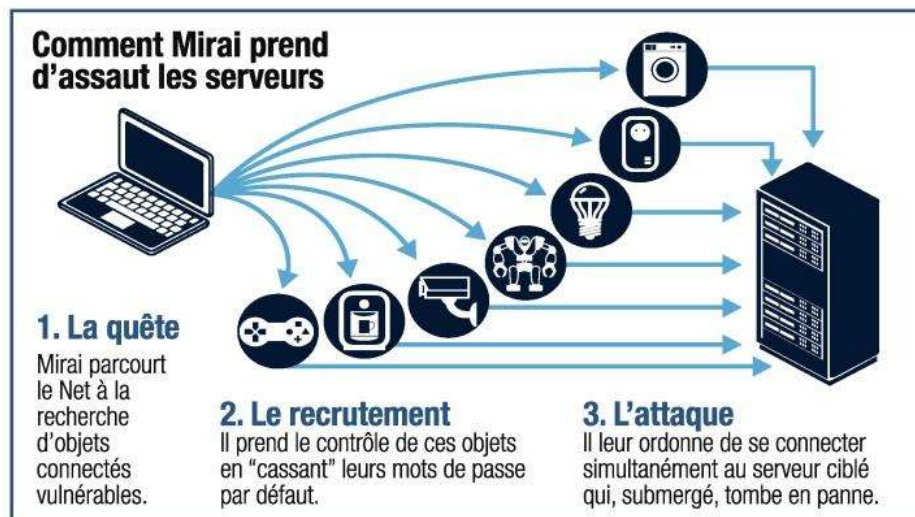
"La capacité de nuisance de ces objets pris individuellement peut paraître dérisoire. Pourtant, même une prise électrique connectée héberge un véritable ordinateur capable de générer des paquets de données vers une cible; il suffit d'un minimum de débit, signale Frédérick Beck, responsable du Laboratoire de

MARDI 20 SEPTEMBRE 2016

L'hébergeur français de serveurs OVH est la proie, pendant 48 heures, de 25 attaques organisées par Mirai, avec des pics atteignant les 1 100 gigabits par seconde – un record absolu. L'entreprise affirme avoir identifié 152 000 objets connectés à l'origine de l'attaque.

haute sécurité informatique, à l'université de Nancy. *La démocratisation de la fibre optique et l'arrivée de la 5G font redouter le pire."*

Les responsables des grandes plateformes internet doivent s'y préparer. *"Il est impossible de dimensionner les tuyaux pour des niveaux de flux aussi extrêmes, soulève Jérémie Briffaut, du laboratoire Sécurité et distribution des systèmes. L'effet de masse est tel que même les systèmes antidéni de service sont submergés. Supprimer les flux à la source, au niveau des objets connectés, demande alors une grande coopération des différents opérateurs mondiaux."* *"Il nous faut en général deux ou trois heures pour réagir à l'attaque, le temps de reprendre nos esprits, de réfléchir et de se coordonner",* témoigne Stéphane Bortzmeyer.





LUNDI 28 NOVEMBRE 2016

C'est au tour du géant des télécommunications Deutsche Telecom de faire les frais de Mirai: le programme a tenté de recruter dans son armée de "zombies" les routeurs de l'opérateur allemand. Bilan: 900 000 foyers privés de communications.

VENDREDI 21 OCTOBRE 2016

Le prestataire américain DynDNS subit deux assauts issus de Mirai qui impliqueraient, selon l'entreprise, des dizaines de millions d'adresses IP. Résultat: Twitter, eBay, Netflix, PayPal et une partie des plateformes Amazon Web Services sont rendues indisponibles pendant une dizaine d'heures en Europe et aux États-Unis.

MERCREDI 2 NOVEMBRE 2016

Le code Mirai bloque l'essentiel des communications du Liberia, dont les deux fournisseurs d'accès internet sont submergés par des flux malveillants (plus de 600 gigabits par seconde) en provenance d'objets du monde entier. Une attaque interprétée comme un galop d'essai avant de viser des pays plus importants.

On imagine les dégâts de plusieurs heures ou jours d'indisponibilité pour une plateforme comme Amazon Web Services, sur laquelle reposent plus d'un million d'entreprises dont, au passage, l'essentiel des géants du CAC 40.

Dans les conférences de cybersécurité, les chercheurs s'interrogent: ces hackers pourraient-ils causer encore plus de dégâts? Au-delà d'une certaine masse critique d'objets détournés, pourraient-ils faire s'effondrer le réseau mondial? Une cible de choix serait par exemple les treize serveurs racines du DNS (Domain Name System), qui font le lien entre les noms de domaines lisibles par les humains et les adresses codées pour les machines. "Toutes les précautions sont prises: le système est géré par des équipes différentes, avec des logi-

Faits & chiffres

Six mois après sa première attaque, Mirai était toujours actif au sein de **centaines de milliers** d'objets connectés depuis **164 pays**, résistant aux tentatives d'y mettre fin. Son code, disponible sur internet, évolue sans cesse. Et ses successeurs sévissent déjà.

ciels différents, selon des méthodes différentes et sur des sites physiques nombreux, explique Stéphane Bortzmeyer. Pour autant, le 30 novembre 2015, quatre des treize serveurs ont été perturbés par une classique attaque de déni de service, et le 25 juin 2016 une autre attaque a rendu partiellement inaccessibles trois serveurs pendant trois heures trente. Les attaques récentes aux objets connectés montrent bien qu'il y a un problème; la situation est plus inquiétante que je ne le pensais."

"Outre les questions d'indisponibilité temporaire, il y a lieu de se demander s'il pourrait y avoir des dommages irréparables, s'alarme Dan Kaminsky, informaticien membre des grandes instances d'internet. Il peut se passer des choses bien pires que ce qui se déroule actuellement."

Et si les assauts récents n'étaient finalement qu'un simple entraînement? "Certaines phases de ces attaques Mirai font en effet penser à un test, confie Frédéric Beck. Le débit monte, puis descend, ils semblent tâter le terrain pour voir comment l'adversaire réagit." Comme si... Comme si quelqu'un était en train d'appréhender à détruire internet.



A consulter: les blogs qui permettent de suivre l'affaire Mirai, et le site de l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information.

science-et-vie.com

EN SAVOIR PLUS



AGM

ANIMAUX GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉS

BIENTÔT DANS NOS ASSIETTES ?

De nouvelles techniques de modification génétique permettent de développer des animaux aux caractères sur mesure. **Elsa Abdoun** a mené l'enquête.

Contexte

Alors que la première plante OGM destinée à la consommation humaine a été autorisée en 1994, aucun animal OGM n'a encore atteint nos assiettes. Une révolution technologique récente pourrait changer les choses.

Le maïs de Monsanto vous effrayait ? Alors préparez-vous à trembler. Car depuis une dizaine d'années, l'ingénierie génétique à visée agricole s'ouvre aux animaux. Vaches Holstein sans cornes, porcs hypermusclés, poulets ne transmettant pas la grippe aviaire ou chèvres à la production de cachemire accélérée... De nouvelles techniques de modification génétique permettent beaucoup plus facilement qu'auparavant de mettre au monde des animaux de ferme plus productifs, faciles à gérer et même, affirment cer-

tains, plus heureux. Et les start-up se sont jetées sur l'occasion, espérant tenir là les troupeaux qui peupleront, demain, les fermes du monde entier.

L'idée n'est certes pas nouvelle. Dès les années 80, soit en même temps qu'apparaissaient les premières plantes OGM (appelées aussi PGM), des chercheurs développaient des animaux génétiquement modifiés sur-exprimant des hormones de croissance, de manière à grandir plus ou plus vite. Mais si les PGM occupent aujourd'hui plus de 10 % des surfaces cultivées dans le monde, aucun OGM animal –

SHUTTERSTOCK

appelons-les AGM – n'a encore fait son entrée dans une ferme.

Et ce pour deux raisons. D'abord, il a longtemps été plus difficile de développer des AGM que des PGM: *"Le temps entre deux générations est plus long"*, explique James Murray, qui travaille sur la modification génétique de chèvres et de vaches laitières à l'université de Californie. Surtout, les premières méthodes de transgénèse (voir l'encadré "Jargon") étaient peu efficaces, car la séquence d'ADN s'insérait aléatoirement dans le génome, ce qui nécessitait de procéder à de nombreux essais. Or, *"il est plus facile de se procurer 10 000 graines de maïs que 10 000 embryons de veaux"*, poursuit James Murray. Pour créer des AGM, les chercheurs devaient donc souvent insérer

leur transgène dans des cellules adultes (de peau...), plus faciles à se procurer que des embryons, puis cloner ces dernières pour qu'elles puissent donner naissance à un nouvel animal. Une procédure fastidieuse, qui donnait lieu à beaucoup d'échecs.

TRENTE ANS D'ATTENTE

Certes, ces difficultés n'ont pas empêché la création de nombreux AGM servant de cobayes de laboratoire ou de producteurs de médicaments; ni la mise sur le marché, aux Etats-Unis et à Taïwan, de deux poissons d'aquarium fluorescents; ou le relargage expérimental, dans plusieurs pays, d'un moustique rendu stérile afin de lutter contre la dengue.

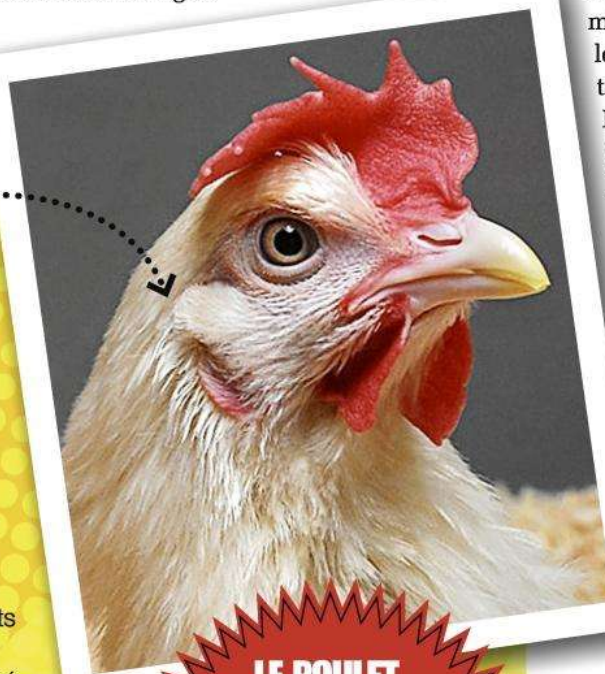
Mais le développement des animaux de ferme connaît une autre difficulté de taille: ces animaux étant souvent destinés à peupler nos campagnes et à produire des aliments, ils suscitent un rejet de la part d'une partie du public, encore plus que les PGM.

Conséquence: le premier – et unique à ce jour – AGM autorisé à la consommation dans un pays, un saumon dont la croissance est accélérée par l'expression permanente (et non plus restreinte au printemps et à l'été) d'une hormone de croissance, ne l'a été qu'en novembre 2015, aux Etats-Unis, soit vingt ans après le dépôt d'un dossier à l'agence sanitaire compétente (FDA). Pour comparaison, la toute première PGM autorisée dans le monde, une tomate se gâtant moins vite, l'a été aux Etats-Unis en 1994, soit trois ans seulement après le dépôt d'une demande. De plus, l'autorisation du saumon transgénique a finalement été suspendue dans l'attente du développement d'un système d'étiquetage qui n'avait jamais été imposé aux PGM.

Les scientifiques ne semblent pourtant pas plus inquiets des conséquences sanitaires ou environnementales de la transgénèse chez un animal que chez une plante. Au contraire, pour les mammifères terrestres, le risque de dissémination incontrôlée des nouveaux caractères dans l'environnement est moindre. *"Les troupeaux ne peuvent pas s'échapper, donc il y a moins de risque de contamina-*

CE POULET, RÉVÉLÉ AU MONDE EN 2011, PORTE UN TRANSGÈNE QUI EMPÊCHE LE VIRUS DE LA GRIPPE DE SE MULTIPLIER DANS SON ORGANISME

La fin des épidémies animales aux graves conséquences économiques et sanitaires. C'est l'espoir suscité par les modifications génétiques rendant les animaux de ferme résistants à des virus. En 2011, des chercheurs britanniques ont ainsi créé des poulets qui, infectés par la grippe aviaire, ne transmettent pas le virus à leurs congénères. Pour ce faire, ils leur ont fait produire, par transgénèse, une molécule leurrant le système de réplication du virus qui, au lieu de se multiplier lui-même, multiplie cette molécule inoffensive. Depuis, les chercheurs disent avoir ajouté de nouveaux gènes dans le génome des poulets afin que, en plus de ne pas transmettre le virus, ils le contractent eux-mêmes moins facilement.



**LE POULET
ANTI-
GRIPPE**

qui sauve des vies

CES PORCS, PORTEURS D'UNE MUTATION DANS UN GÈNE RÉGULANT LA CROISSANCE MUSCULAIRE, ONT ÉTÉ DÉVELOPPÉS EN 2014 PAR UNE ÉQUIPE SINO-CORÉENNE

Produire plus de viande, pour moins cher : cet objectif aussi vieux que l'élevage peut désormais être beaucoup plus rapidement atteint. Car il est à présent possible de provoquer une mutation ponctuelle dans un gène régulant le développement musculaire des mammifères, afin que ceux-ci développent une masse maigre beaucoup plus importante. Cette mutation, apparue naturellement chez certaines races bovines telles que la blanc-bleu belge, a été provoquée par trois laboratoires chinois, sur différentes races de porcs.

Ces trois dernières années sont nés des porcs plus musclés, donnant une viande plus abondante et moins grasse. 20 % de ceux produits à l'université agricole de Pékin avaient même développé une paire de côtes thoraciques supplémentaire ! Un "effet secondaire" très appréciable pour les éleveurs.



LE PORC PLUS MUSCLÉ

qui donne une viande moins grasse

tion qu'avec les plantes", admet Christophe Noisette, fondateur de l'association Inf'OGM, qui met régulièrement en garde contre ces techniques.

Face aux obstacles pratiques et réglementaires, la plupart des chercheurs avaient en tout cas, dès la fin des années 90, abandonné l'idée de produire des animaux d'élevage génétiquement modifiés. Mais dix ans plus tard, de nouvelles technologies d'ingénierie génétique ont totalement changé la donne, en simplifiant très fortement la pratique, mais aussi en suscitant l'espoir, chez les partisans des AGM, d'une meilleure acceptation du public et d'un encadrement réglementaire moins strict.

La plus aboutie de ces nou-

velles techniques est le système CRISPR-Cas9. Soit l'association d'une molécule capable de couper l'ADN et d'une autre qui guide la première jusqu'à l'endroit exact du génome que les scientifiques souhaitent modifier (voir S&V n°1180, p.44). La coupure pratiquée permet, selon le souhait des scientifiques et le caractère recherché, soit d'inactiver un gène naturellement présent, soit d'en insérer un nouveau.

LES GÈNES INACTIVÉS PAR SIMPLE COUPURE

Cette technique présente de nombreux avantages par rapport à celles précédemment utilisées. Son taux de réussite plus important permet de plus en plus souvent d'agir directe-

ment sur des embryons d'animaux, libérant les scientifiques de la complexité du clonage. Résultat : "Il n'est aujourd'hui pas plus difficile de faire des modifications génétiques sur un animal que sur une plante", soutient James Murray.

Ensuite, cette grande efficacité supprime la nécessité d'intégrer des gènes marqueurs, tels que des gènes de résistance aux antibiotiques, qui ne servaient auparavant qu'à sélectionner les cellules dans lesquelles la transgénèse avait bien marché. Le risque de bouleversements délétères de l'organisme génétiquement modifié est donc diminué. Le fait que les mutations se produisent dans des zones précises du génome va dans le même sens.

CHEZ CES CHÈVRES, NÉES EN 2015 DANS UN CENTRE DE RECHERCHE CHINOIS, UN GÈNE RÉGULANT LA POUSSE DES POILS A ÉTÉ INACTIVÉ

Augmenter la production de cachemire des chèvres : c'est l'exploit qu'ont réalisé des chercheurs chinois en opérant une mutation dans le génome de ces animaux. Plus précisément, ils ont inactivé le gène codant pour la protéine FGF5, qui régule notamment l'élongation des poils chez les mammifères. Ils ont alors pu constater que leurs six chèvres mutées produisaient des fibres de cachemire plus longues, et en plus grand nombre. Dès l'âge de 4 mois, chaque chèvre avait ainsi, en moyenne, produit près de 100 g de cachemire supplémentaires.

LA CHÈVRE PLUS POILUE

qui accélère la production de cachemire



→ Mais c'est surtout avec la possibilité, inédite, d'inactiver des gènes par simple coupure, et donc d'obtenir parfois des caractères nouveaux sans ajout d'ADN étranger (transgène), que les chercheurs se sont mis à espérer convaincre consommateurs et législateurs d'ouvrir les bras aux AGM. Car rien ne distingue de telles mutations de celles qui apparaissent spontanément chez tous les êtres vivants, à chaque nouvelle génération.

A partir de 2010, encouragés par ces avancées, de nombreux laboratoires ont recommencé à produire des AGM de ferme, dotés d'attributs inédits.

Un caractère a été développé plus souvent que les autres : la résistance aux maladies. Des scientifiques britanniques ont ouvert la voie en 2011 avec des poulets rendus incapables de transmettre la grippe à leurs congénères (voir p.100). L'année dernière ont été révélés des porcs qui, par introduction d'une mutation naturellement présente chez le phacochère, étaient devenus résistants à la peste porcine africaine. Des porcs encore ont, par muta-

Jargon

Les OGM

peuvent être des plantes, animaux, etc. dont le patrimoine génétique a été volontairement altéré par l'action humaine. Par exemple par la **transgénèse**, qui consiste à insérer un gène étranger, ou transgène, dans un génome.

tion d'une molécule à laquelle s'attache le virus pour pénétrer dans les cellules, été rendus insensibles à la maladie de l'oreille bleue, qui détruit des troupeaux entiers. En 2014, enfin, des chercheurs chinois ont rendu des vaches plus résistantes aux mammites (une inflammation des pis entraînant la perte d'une partie de la production de lait) par introduction, dans leur génome, d'un gène codant un peptide antimicrobien.

D'autres manières d'augmenter la productivité des troupeaux sont envisagées, en développant par exemple des chèvres produisant plus de cachemire (voir ci-dessus) ou des cochons aux muscles hyperdéveloppés (voir p.101).

Certains scientifiques affirment également travailler à l'amélioration du bien-être

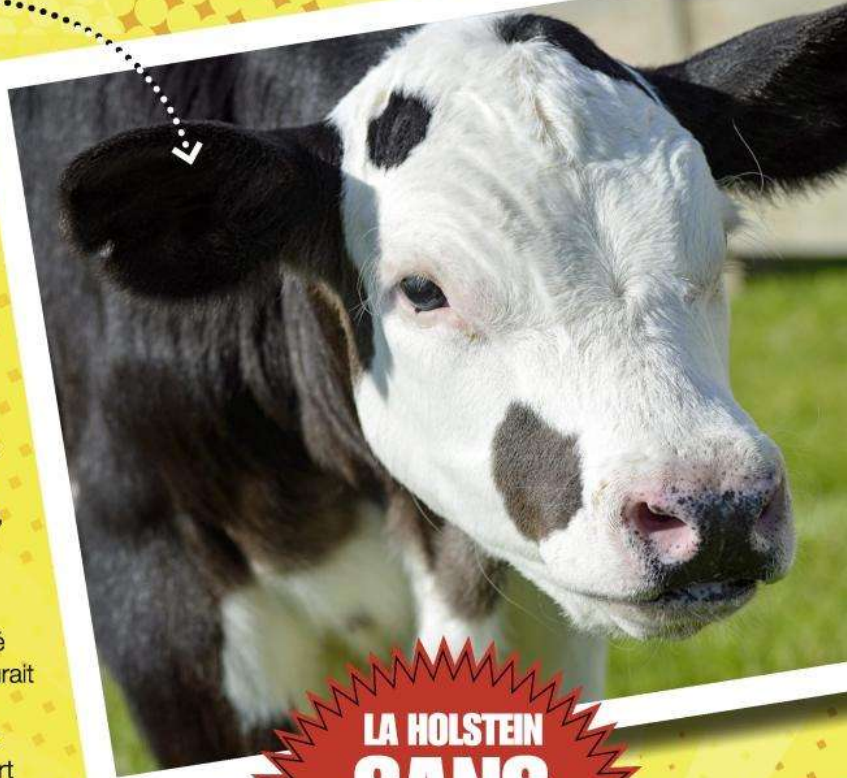
des animaux d'élevage : des veaux Holstein sans cornes ont ainsi été développés par mutation d'un gène (voir ci-dessus), évitant l'écornage douloureux souvent pratiqué pour éviter les blessures. Tandis que d'autres travaillent sur des porcs qui produisent moins d'une hormone donnant une odeur et un goût désagréables à la viande, dans le but d'éviter les castrations actuellement pratiquées, sans anesthésie.

QUESTIONNEMENTS ÉTHIQUES

Des applications plus surprenantes sont envisagées, comme ces porcs rendus stériles de manière à pouvoir, après implantation de cellules souches provenant de "reproducteurs d'élite" aux caractères exceptionnels dans leurs testicules vides, servir d'usines de semence à haute valeur ajou-

LE PETIT VEAU SPOTIGY, NÉ EN 2015, PORTE UNE MUTATION QUI EMPÊCHE SES CORNES DE POUSSER

Des vaches ne risquant pas de faire mal aux éleveurs ou à leurs congénères. C'est ce que recherchent les éleveurs de bovins quand ils écoment leurs animaux... mais au prix d'un stress et d'une souffrance pour leurs bêtes. Pour l'éviter, l'entreprise Recombinetics, spécialisée dans les AGM, a récemment introduit, dans le génome de vaches laitières Holstein, le gène responsable de l'absence de cornes, présent naturellement chez d'autres races. La naissance de cinq veaux sans bourgeons de cornes a été annoncée l'an dernier. Ce caractère aurait aussi pu être obtenu par croisements, mais cela aurait entraîné de nombreux mélanges de gènes, et donc le transfert involontaire de caractères indésirables, tels qu'une moindre production de lait.



LA HOLSTEIN
**SANS
CORNES**

qui ne fait même pas mal

tée, pour l'insémination des femelles. Des vaches produisant un lait hypoallergénique et des poules dont la composition nutritionnelle des œufs a été modifiée ont également été mises au monde ces dernières années. James Murray a quant à lui produit *"des chèvres dont le lait contient un antimicrobien humain, afin d'améliorer la santé gastro-intestinale, en particulier des enfants des pays sous-développés"*.

L'enthousiasme des chercheurs est flagrant. *"Il va y avoir énormément de nouvelles publications sur le sujet dans les cinq prochaines années"*, promet Bhanu Telugu, qui travaille notamment sur des porcs résistants à la grippe à l'université du Maryland, persuadé que cette tendance pourrait *"initier une véritable révolution dans le domaine de l'agriculture"*.

Mais ces AGM, contrairement à ce qu'espéraient leurs promoteurs, n'évitent toujours pas la polémique. *"Les nouvelles méthodes de transgénèse ont gagné en précision mais il reste une part d'aléatoire"*, s'inquiète par exemple Christophe Noisette, qui craint des perturbations involontaires, entraînant des effets délétères pour la santé des animaux ou des consommateurs. Des questionnements éthiques persistent aussi: *"souhaite-t-on augmenter la capacité à breveter le vivant?"* interroge le fondateur d'InfOGM, qui regrette, enfin, la finalité de ces modifications: *"L'enjeu commercial, c'est de pouvoir continuer à concentrer les animaux"*, suspecte-t-il.

La législation n'évolue d'ailleurs pas aussi vite que les scientifiques l'espéraient. L'encadrement plus souple des

AGM obtenus par les dernières méthodes d'ingénierie génétique est encore loin d'être assuré, que ce soit en Europe ou aux Etats-Unis. James Murray compte cependant sur l'Amérique du Sud et l'Inde pour autoriser, les premiers, la consommation d'aliments provenant d'AGM. Simon Lillico, qui développe des animaux génétiquement résistants à la peste porcine à l'université d'Edimbourg, affirme quant à lui qu'il serait *"désagréablement surpris si la législation mettait plus de dix ans à s'ouvrir"*.

En attendant, dans les enclos de nombreux centres de recherche, une faune absolument extraordinaire mange, dort et se reproduit déjà.



A consulter : les références des principales publications citées dans l'article
A voir : une courte vidéo résumant le fonctionnement du système CRISPR-Cas9.

**EN
SAVOIR
PLUS**

science-et-vie.com

> Diriger, via ses miroirs pivotants, la lumière du soleil vers des installations photovoltaïques tout en modulant la température au sol : tel est le double objectif de ce méga pare-soleil urbain.



DUBAÏ

Des canopées urbaines pour plus d'énergie solaire

Inspirée des moucharabiehs qui ornent les fenêtres de l'architecture arabe traditionnelle, Sun&Shade est une canopée réfléchissante, imaginée par Carlo Ratti, qui allie l'ombre à la lumière. L'ombre qu'elle projette sur le sol rafraîchit en effet les passants, les protégeant du soleil brûlant, tandis que la lumière est, elle, filtrée et tamisée à travers des ouvertures disséminées sur toute la surface. Celles-ci sont

formées de disques mobiles qui réagissent en fonction de la course du soleil, mais qui peuvent aussi être contrôlés informatiquement : ils pivotent et tournent de manière à diriger, grâce à leur revêtement en miroirs, les rayons solaires vers un panneau photovoltaïque ou une installation de concentration solaire thermique qu'ils alimentent ainsi. Sur le sol, les ombres des disques peuvent également composer des

dessins ou des inscriptions pour une touche esthétique. Fraîcheur d'un côté, chaleur et énergie de l'autre : Sun&Shade est un système simple dont les concepteurs imaginent recouvrir des places entières dans les pays chauds. Ou qui, à l'inverse, pourrait servir à concentrer la chaleur au sol sous les climats froids. Un prototype a été présenté au Museum of the Future, à Dubaï, en février dernier. **F.G.**



TOULOUSE

Le robot bricoleur est né

Encore un robot singeant l'homme ? Oui, mais pas seulement. Du haut de son 1,75 m, Pyrène est un humanoïde assistant capable de réaliser les tâches les plus pénibles sur les chaînes de montage industriel. Sa spécificité : il sait manipuler des outils grâce à une réorganisation complète de ses moteurs, situés dans ses articulations. Il peut *"effectuer des actions complexes, comme visser ou percer un trou"*, explique Olivier Stasse, qui pilote le projet au CNRS. Il peut aussi porter un poids record de 6 kg au bout de chaque bras. Sa dextérité et sa capacité à marcher sur un terrain irrégulier sont toutefois très gourmandes en énergie.

E.T.-A.

MOUNTAIN VIEW (ÉTATS-UNIS)

Un réseau **internet** de **ballons pilotés** par des **I.A.** est à l'essai

Pour dispenser internet aux deux tiers de la population mondiale qui en sont privés, Google développe depuis 2013 le projet Loon, qui vise à couvrir les zones inaccessibles grâce à des ballons circulant à 100 km d'altitude. Or, dans la stratosphère, où la météo est imprévisible, les ballons, dépourvus de système de propulsion, ne maîtrisent leur mouvement que de haut en bas, en chauffant ou non leur gaz. Pour couvrir toute la planète, il faudrait donc en déployer des centaines... sauf à réussir à les piloter ! Ce sera le rôle de leur intelligence artificielle (I.A.) : en fonction de la météo, elle décidera seule de les faire monter ou descendre pour suivre un courant d'air et rester ainsi au-dessus de la même zone. Avec le temps, cette I.A. sera même capable de tirer parti de ses propres résultats pour améliorer son pilotage. Une avancée qui pourrait assurer la rentabilité de Loon et son déploiement d'ici quelques années. Un premier test a déjà eu lieu l'été dernier entre Porto Rico et le Pérou.

S.F.

On pourra bientôt déposer son vélo partagé où on veut

Les usagers des vélos partagés connaissent bien l'angoisse de la station saturée. Il faut tourner pour trouver une attache disponible et se débarrasser de l'encombrant deux-roues, quitte à s'éloigner de sa destination. Si seulement il suffisait de laisser la bicyclette n'importe où, comme à Shanghai ou à Pékin ! Grâce aux puces GPS intégrées dans les vélos partagés de ces deux villes, on les repère sur l'application mobile dédiée et on entre le numéro inscrit sur le cadenas pour recevoir un code de déverrouillage. En refermant l'antivol, l'abonné signale la fin de sa location et déclenche le paiement de sa course par prélèvement. Simplissime ! Et bientôt disponible en Europe : Ofo, l'opérateur pékinois, vient de livrer 500 vélos connectés à Cambridge... Leur déploiement dans la ville anglaise est imminent. **A.V.**

Idee neuve



DES ONDES ACOUSTIQUES POURRAIENT ATTÉNUER LA FORCE DES TSUNAMIS

Usama Kadri, ingénieur et mathématicien, université de Cardiff (R.-U.)

Lors des séismes ou des glissements de terrain sous-marins, des ondes particulières, les "ondes acoustiques de gravité", sont naturellement produites. Très basses en fréquence, elles filent presque à la vitesse du son sur de très grandes distances subaquatiques. Usama Kadri, spécialiste des mathématiques appliquées, s'y est intéressé. Il a déjà démontré que si on arrivait à détecter ces ondes, on pourrait prédire la formation d'un tsunami. Aujourd'hui, il va encore plus loin : il propose de créer des ondes artificielles qui viendraient s'opposer au raz de marée pour en réduire l'amplitude. De quoi limiter les dégâts causés par ces vagues géantes qui frappent les côtes. En pratique, l'idée pose toutefois de sérieux problèmes, car il faudrait mobiliser beaucoup d'énergie pour créer des ondes efficaces sur les tsunamis. "Néanmoins, mon étude montre qu'un tsunami dévastateur pourrait être atténué et cela sauverait des vies", explique le mathématicien. Après cette avancée théorique, il reste à trouver comment produire cet effet. **A.V.**



OLIVIER STASSE/LAAS/CNRS - DPA/PICTURE-ALLIANCE - DR



TSUKUBA (JAPON)

Un drone pour polliniser les fleurs est à l'étude

Pour faire face au déclin des insectes pollinisateurs, une équipe japonaise vient de concevoir un drone capable de fertiliser les fleurs à leur place. Ce quadricoptère miniature est équipé de crins de cheval recouverts d'un gel qui miment l'effet des poils des insectes. En se frottant à une fleur mâle, le drone se charge donc de pollen avant d'aller en faire autant sur une fleur femelle pour la féconder. Prochaine étape : rendre ce robot autonome en le dotant d'une intelligence artificielle. L'espoir est alors que ces drones puissent un jour voler en essaim et remplacer les insectes dont la population décroît.

S.F.

TALLINN (ESTONIE)

Un robot teste la livraison de repas à domicile

Les robots de Starship technologies ont envahi les trottoirs de la capitale estonienne. Autonomes, grâce à leur guidage GPS et leur intelligence artificielle, ils livrent les plats de quatre restaurants du quartier Mustamäe. Neuf caméras et un détecteur à ultrasons leur permettent d'éviter les obstacles. Ils peuvent ainsi parcourir jusqu'à 5 km à 6 km/h. Aux carrefours dangereux ou quand il faut actionner un feu de signalisation à commande manuelle, le robot demande leur assistance aux passants. Et comme il n'a pas de bras, c'est par SMS qu'il indique être arrivé à destination.

A.V.

PORSGRUNN (NORVÈGE)

Un premier **immeuble à énergie positive** doit voir le jour sous **climat très froid**

Le cabinet d'architecture Snøhetta vient de dévoiler le projet de construction à énergie positive le plus septentrional au monde. Objectif : montrer que ce type de bâtiment peut fonctionner dans les pays froids. Baptisé Powerhouse Telemark, cet immeuble de 11 étages, en partie construit avec des matériaux recyclés, produira plus d'énergie qu'il n'en consommera. Il sera en effet capable d'optimiser les apports de chaleur solaire et de récolter de l'électricité. Pour cela, il mise sur sa forme : celle d'un diamant recouvert de panneaux photovoltaïques. Des pompes à chaleur fourniront l'appoint d'énergie renouvelable. Inauguration prévue en 2019. **H.L.**



Rendez-vous en...
2040

LA BANQUISE ARCTIQUE SERA RESTAURÉE GRÂCE À DES POMPES À EAU DE MER

Renforcer la banquise en hiver pour qu'elle ne disparaisse pas totalement en été – ce qui, au rythme actuel, risque d'arriver dès 2030 ? Voici sur quoi planchent des chercheurs de l'université d'Etat d'Arizona. Leur idée ? Construire 10 millions de pompes à eau de mer, alimentées à l'aide d'éoliennes et placées sur des bouées dans les zones les plus fragiles de l'Arctique – ce qui représente quelque 10 % de sa superficie –, pour pomper puis disperser l'eau, en hiver, sur la calotte glaciaire. *“Cela permettrait de gagner un mètre d'épaisseur chaque année”* précise Steven Desch, qui pilote l'étude. *En supposant que nous nous y mettions dès demain, il nous faudrait encore une décennie pour construire et déployer notre projet et dix ans de plus pour restaurer la glace arctique.”* Mais avant cela, les chercheurs devront surmonter de nombreux obstacles. Matériels d'abord, puisque le dispositif devrait nécessiter 10 millions de tonnes d'acier par an et 100 millions s'il était déployé sur tout l'Arctique, soit l'équivalent de la production annuelle des Etats-Unis. Economies ensuite. Le financement global avoisinerait les 500 milliards de dollars. Techniques enfin : *“Nous devons encore concevoir et construire un prototype fonctionnel”*, explique Steven Desch... **E.T.-A.**

TUNISIE

Des éoliennes battant des ailes comme des oiseaux sont en phase de test

Pour exploiter au maximum l'énergie du vent, la start-up tunisienne Tyer Wind parie sur le biomimétisme... Ses éoliennes imitent au plus près le vol du colibri, seul oiseau à maîtriser le vol stationnaire grâce à ses battements d'ailes ultrarapides en forme de huit. Pour ce faire, elle s'est dotée de turbines fonctionnant avec une cinématique mise au point par le Tunisien Anis Aouini : il s'agit de transformer un mouvement longitudinal en mouvement rotatif, ce qui engendrerait une conversion d'énergie proche des 80 % ! Les deux ailes en fibres de carbone de 1,60 m pivotent en formant des huit sur un arc de 80 degrés, ce qui permet de "baratter" une surface de 3,56 m². Résultat : chaque éolienne produirait une puissance préindustrielle de 1 kW pour un vent à 10 m/s, soit le maximum atteint par une éolienne classique de même taille. Ces éoliennes-colibris, actuellement en phase de test, seraient également, selon leurs concepteurs, moins dangereuses pour les oiseaux. **F.G.**



TYER WIND

LA SCIENCE & LA VIE

112
Elections

D'autres modes de scrutin sont possibles



122
Technofolies

L'hybride qui dope son autonomie grâce au solaire



132
Il y a... 150 ans
Nobel dépose le brevet de la dynamite

Science & société

112

Science & vie pratique

120

Science & culture

126

Elections

D'autres modes de scrutin sont possibles

Casque à vélo obligatoire

Ce n'est pas une si bonne idée

Glyphosate

Scientifiquement intouchable ?

Santé publique

De plus en plus de jeunes adultes touchés par des AVC

Bon à savoir

Dix conseils pratiques en direct des publications scientifiques

Technofolies

L'hybride qui dope son autonomie grâce au solaire ; un coach sportif intelligent dans les oreilles ; la maison en carton qui se monte en une journée ; des LED pour apprendre à jouer de la guitare...

Questions/Réponses

Pourquoi le cœur est-il à gauche ? Comment le téléphone transmet-il la voix ? La Terre pourrait-elle être éjectée de son orbite par un astéroïde ?...

A voir/A lire

Lutétium, MinutePhysics... les meilleurs blogs de physique

Il y a... 150 ans

Nobel dépose le brevet de la dynamite

SHUTTERSTOCK - D.R. - HERITAGE
IMAGES/GETTY IMAGES

Elections

D'autres modes de scrutin sont possibles

Les résultats du premier tour de la présidentielle viennent de tomber... Et il y a fort à parier que le verdict des urnes laissera chez certains d'entre nous un arrière-goût de frustration et d'aigreur. La conséquence inévitable du jeu démocratique? Pas seulement. Car notre mode de scrutin uninominal majoritaire à deux tours, en usage depuis soixante ans sous la V^e République, n'est qu'une méthode de vote parmi beaucoup d'autres. Et pas forcément la meilleure.

En France, une trentaine de mathématiciens et d'économistes spécialistes du

choix social étudient les meilleurs moyens d'agréger nos millions de préférences individuelles pour en tirer la décision collective la plus juste. *"Une procédure de vote n'est autre qu'une fonction mathématique, compare Jérôme Lang, du Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision (Lamsade). Le problème, c'est que notre système actuel affiche de nombreuses propriétés indésirables."*

De fait, certaines configurations de vote conduisent à des situations anormales en regard des qualités mathématiques exigées par la théorie du vote. Exemple: le premier tour de nos élections peut éliminer un candidat qui l'aurait probablement emporté contre tous les autres dans le duel du second tour – on parle du

"vainqueur de Condorcet". Une situation qui s'est présentée pour François Bayrou en 2007, et sans doute Edouard Balladur en 1995 et Raymond Barre en 1988.

UN VOTE NI LOGIQUE NI JUSTE

"Nos travaux menés lors de la présidentielle de 2012 montrent que ce système de vote favorise les candidats 'exclusifs', c'est-à-dire qui suscitent des réactions exacerbées, au détriment des candidatures plus ouvertes", signale Antoinette Baujard, du Groupe d'analyse et de théorie économique

(université Jean-Monnet à Saint-Etienne).

Autre entorse de notre sacro-saint mode de scrutin aux canons de la théorie: sa sensibilité aux candidats clones. *"La présence de deux profils politiques très proche, tels Lionel Jospin et Christiane Taubira en 2002, perturbe considérablement le résultat final", souligne Jérôme Lang.*

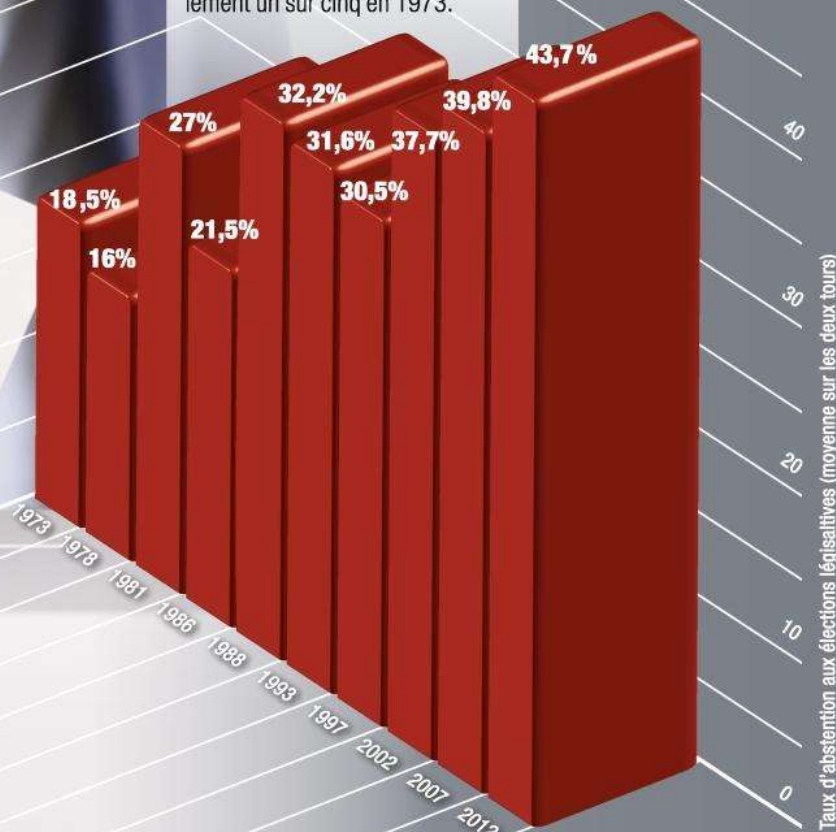
Les mathématiciens reprochent également à notre système à deux tours de ne pas être "monotone", à l'image d'une fonction mathématique dont le sens

LE RAPPEL DES FAITS

Les **23 avril et 7 mai**, **45 millions** d'électeurs français sont appelés à voter pour désigner le président de la République. Suivront les **élections législatives les 11 et 18 juin**.

Le suffrage uninominal à deux tours de plus en plus marqué par l'abstention

Près d'un électeur sur deux ne s'est pas déplacé aux élections législatives de 2012, contre seulement un sur cinq en 1973.



3 millions

C'est le nombre de Français en âge de voter qui ne se sont pas inscrits sur les listes électorales (soit 7 % du corps électoral).

Plus d'un électeur sur deux indécis

A deux mois du premier tour, 54 % des Français hésitaient encore (sondage Odoxa publié le 20 février 2017).



SOURCES : MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR - P. BRÉCHON, DOCUMENTATION FRANÇAISE - INSEE

de variation ne serait pas constant. Un candidat vainqueur dans une certaine configuration de vote pourrait très bien ne pas être élu dans une autre configuration où il recueille pourtant plus de voix au premier tour – si Jacques Chirac avait convaincu certains des électeurs de Jean-Marie Le Pen de voter pour lui au premier tour des élections de 2002, peut-être n'aurait-il pas gagné face à Lionel Jospin...

Sans compter que le scrutin uninominal incite au vote stratégique plutôt qu'au choix sincère: "En

cas de premier tour serré, les électeurs peuvent vouloir se coordonner autour d'un candidat qui leur paraît avoir le plus de chance d'être présent au second tour, même s'il ne correspond pas à leur premier choix", observe Karine Van

der Straeten, directrice de recherche à l'Ecole d'économie de Toulouse.

"Ce scrutin mélange des votes de natures très différentes: votes d'adhésion, de rejet ou utiles dont l'addition, au final, n'a pas de sens", résume Rida

Laraki, chercheur en informatique au Lamsade.

Comment, alors, permettre aux électeurs de s'exprimer de manière à la fois complète, subtile et sincère, tout en assurant un résultat logique et juste? La question est débattue depuis la Grèce →



JÉRÔME LANG

Chercheur au Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision (Lamsade)

Notre procédure de vote actuelle présente de nombreuses propriétés mathématiques indésirables

Modes de scrutin : 4 autres méthodes déjà largement

1 LE VOTE PAR APPROBATION

Le principe

Chaque électeur peut cocher le nom d'un ou plusieurs candidats dont il approuverait l'élection. Ce qui revient en quelque sorte à déposer plusieurs bulletins différents dans l'urne. Au final, le candidat qui totalise le plus de voix l'emporte.

Avantages

Possibilités d'expression fortement élargie ; dépouillement très simple.

Inconvénients

Ne traduit pas l'intensité des préférences de l'électeur ; manque de clarté des résultats du fait de scores souvent très proches.

Où ?

Elections municipales en France (communes de moins de 3 500 habitants) ; plusieurs sociétés savantes américaines.



Indiquez, parmi les 8 candidats, quels sont ceux que vous soutenez

Nathalie Artaud
Nicolas Dupont-Aignan
François Fillon
Benoît Hamon
Marine Le Pen
Emmanuel Macron
Jean-Luc Mélenchon
Philippe Poutou

2 LE VOTE PRÉFÉRENTIEL TRANSFÉRABLE

Le principe

Les candidats sont classés par ordre de préférence (les non-classés sont considérés comme rejetés). Le dépouillement se fait en plusieurs étapes : le candidat le moins bien placé (qui totalise le moins de premières places ou le plus de dernières, selon les méthodes) est éliminé et ses voix reportées sur le candidat indiqué sur ces bulletins comme deuxième. La procédure se poursuit jusqu'à ce qu'un candidat recueille plus de 50 % des voix.

Avantages

Possibilité d'expression fortement élargie ; vote difficile à manipuler.

Inconvénients

Procédure complexe ; le résultat dépend du dépouillement choisi.

Où ?

Irlande, Australie, les Fidji, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Sri Lanka, Malte, ville de San Francisco.



Classez dans l'ordre de préférence les candidats de votre choix

Nathalie Artaud	
Nicolas Dupont-Aignan	2
François Fillon	3
Benoît Hamon	
Marine Le Pen	1
Emmanuel Macron	4
Jean-Luc Mélenchon	
Philippe Poutou	

→ antique, en passant par les philosophes des Lumières et le marquis de Condorcet. Des dizaines de techniques ont depuis été proposées dans le monde, dont certaines ont été employées lors d'élections politiques, de compétitions sportives ou artistiques.

En France, quatre méthodes parmi les plus crédibles ont été expérimentées depuis 2002 sur une poignée de bureaux de vote parallèlement aux présidentielles

officielles : le vote par approbation, le vote préférentiel transférable, le vote par note et le jugement majoritaire (lire les encadrés).

Leur point commun ? Sortir de la logique uninominale pour permettre au citoyen de s'exprimer plus finement en classant, notant ou jugeant l'ensemble des candidats s'il le désire. "Nos expériences montrent que les électeurs ne veulent pas être cantonnés au choix réducteur d'une seule personne",

insiste Jean-François Laslier, spécialiste de la théorie du vote à l'Ecole normale supérieure. Lors des différentes expériences menées sur le vote par approbation, les électeurs en venaient ainsi à plébisciter près de trois candidats en moyenne.

La difficulté est que tout le monde ne s'accorde pas sur les propriétés les plus souhaitables d'un scrutin. Car au-delà des qualités logiques intrinsèques, le choix devient vite politique.

Certaines méthodes, comme le vote par approbation ou par note, ont tendance à rééquilibrer le résultat en faveur des candidats centristes... Et à faire dégringoler les extrêmes, à l'image de Marine Le Pen rétrogradée à la cinquième place d'une expérience menée lors de la présidentielle de 2012. D'autres experts préfèrent mettre l'accent sur les risques de manipulation du scrutin, "c'est pourquoi dans la technique de jugement majoritaire, nous utilisons la médiane et non la moyenne pour contrer l'impact des évaluations extrêmes", éclaire Rida Laraki. Même si, tance Jérôme Lang, "ce mode de scrutin par la médiane peut amener à élire un candidat A alors qu'une grosse majorité préférerait B".



KARINE VAN DER STRAETEN
Directrice de recherche à l'école d'économie de Toulouse

Il n'y a pas de raison de sacraliser notre mode de scrutin : ce n'est pas une règle intangible, elle a été choisie parmi d'autres !

évaluées

3 LE VOTE PAR NOTE

Le principe

L'électeur attribue une note à chaque candidat selon une échelle de notation choisie (exemple : de 0 à 20 ou encore 0, 1, 2). Un candidat non noté est considéré comme rejeté. Et le candidat élu est celui qui obtient la moyenne la plus élevée.

Avantages

Possibilité d'expression fortement élargie ; finesse du vote.

Inconvénients

Résultat dépendant de l'échelle de notes choisie ; scrutin facilement manipulable.

Où ?

En Lettonie.

Donnez une note à chaque candidat

	2	1	0
Nathalie Artaud			X
Nicolas Dupont-Aignan			X
François Fillon		X	
Benoît Hamon		X	
Marine Le Pen			X
Emmanuel Macron	X		
Jean-Luc Mélenchon			X
Philippe Poutou			X

Ces votes alternatifs ne règlent donc pas tous les problèmes. Certains sont à manipuler avec précaution. "Les échelles de notes proposées aux électeurs, par exemple, ont une grande influence sur les propriétés du vote, reconnaît Antoinette Baujard. Ainsi, une échelle de 0 à 20 ouvre la possibilité de mettre des notes extrêmes à son favori tout en sous-notant son concurrent, au risque d'introduire une inégalité entre le poids de chaque électeur. De même, proposer une échelle avec une note négative (-1, 0, 1) handicape plus les candidats clivants qu'une échelle classique 0, 1, 2".

La méthode de dépouillement elle-même peut chambouler un résultat : "Selon la technique utilisée, le vote

préférentiel transférable testé lors de la présidentielle de 2007 dans deux bureaux de vote de Faches-Thumesnil (Hauts-de-France) plaçait en tête soit Nicolas Sarkozy soit François Bayrou", souligne Etienne Farvaque, chercheur à l'université de Lille.

AUCUN MODE N'EST NEUTRE

Les mathématiciens l'ont de toute façon démontré : aucun mode de scrutin n'est idéal. Le théorème de Gibbard-Satterthwaite, par exemple, établit qu'à partir de trois candidats il n'existe pas de processus démocratique où tous les votants ont toujours intérêt à être sincères, c'est-à-dire à voter selon leurs vraies préférences.

Dont acte. Reste que certaines méthodes pourraient se révéler bien meilleures

4 LE JUGEMENT MAJORITAIRE

Le principe

L'électeur juge chaque candidat sur une échelle de sept appréciations correspondant à des mentions scolaires familières (de "Excellent" et "Très bien" jusqu'à "Insuffisant" et "A rejeter"). Le candidat élu est celui qui affiche la plus haute médiane de la série de jugements qui le concerne.

Avantages

Possibilité d'expression fortement élargie ; résiste bien aux votes stratégiques.

Inconvénients

Le calcul de la médiane peut favoriser des candidats fortement rejetés ; dépouillement difficile à comprendre pour l'électeur.

Où ?

LaPrimaire.org (pour les présidentielles de 2017) ; compétitions sportives, artistiques, classements des vins.

Pour présider la France, ayant pris tous les éléments en compte, je juge en conscience que ce candidat serait :

	Excellent	Très bien	Bien	Assez bien	Passable	Insuffisant	A rejeter
Nathalie Artaud							X
Nicolas Dupont-Aignan			X				
François Fillon	X						
Benoît Hamon						X	
Marine Le Pen				X			
Emmanuel Macron					X		
Jean-Luc Mélenchon							X
Philippe Poutou							X

que la nôtre. "La demande d'alternative se fait sentir dans des moments de crise du système en place, note Jean-François Laslier. Les hommes politiques, qui nous prenaient il y a quelques années pour des hurluberlus, commencent à considérer nos travaux." Tout en ayant conscience que le choix de tel ou tel mode de scrutin peut avoir une influence majeure sur le résultat final, non seulement sur le nom du vainqueur mais aussi sur le classement des poursuivants et les rapports de force entre les partis – bref, l'ensemble du paysage politique.

"Aucune procédure n'est neutre, résume Karine Vander Straeten. Le mode de scrutin uninominal à deux tours de notre présidentielle est gravé dans le marbre de la constitution. Or, il n'y a aucune raison de le sacraliser ; ce ne sont pas des règles intangibles, elles ont été choisies parmi d'autres ! Les citoyens sollicités dans nos expériences se sont souvent montrés très réceptifs à l'idée d'innover."

Car oui, il existe d'autres méthodes pour élire un président de la République.

Vincent Nouygrat

Pour aller plus loin :
www.science-et-vie.com

D.R.

Sécurité routière

Le casque obligatoire à vélo: pas une si bonne idée

S'il est déjà recommandé depuis longtemps, le port du casque à vélo est maintenant obligatoire pour les enfants de moins de 12 ans, qu'ils soient conducteurs ou passagers.

Sur le site du ministère de l'Intérieur, la mesure est justifiée par la volonté d'encourager *"l'apprentissage du vélo, excellent pour la santé comme pour la qualité de l'air"*.

LE RAPPEL DES FAITS

Depuis le **22 mars**, la loi rend le port du casque à vélo obligatoire pour les enfants de moins de 12 ans, conducteurs ou passagers. La France est le **26^e pays** à adopter ce type de législation.

Pourtant, la majorité des associations de promotion du cyclisme ont toujours exprimé leur désapprobation face à une telle mesure coercitive, arguant que ce type de décision n'améliore pas la sécurité des usagers à vélo.

MIEUX PROTÉGER LA TÊTE

Certains estiment même que le port du casque modifie le comportement des cyclistes: se sentant en sécurité, ils font moins attention et finissent par être impliqués dans plus d'accidents.

Que dit la science sur la question? De nombreuses études se sont intéressées à l'efficacité du casque en tant que protection, et à sa capacité à réduire les blessures à la tête. L'année dernière, dans une méta-analyse qui recensait plus

de 64 000 blessures de cyclistes à travers le monde, le mathématicien Jake Olivier a montré que le port du casque permet de réduire les risques de blessures à la tête de 51 %. Et la réduction est encore plus marquée pour les blessures sévères et fatales (69 % de réduction dans les deux cas). Pas de doute: le casque réduit bel et bien



40 %

C'est la part de piétons qui traversent au feu rouge en France alors que les Japonais, eux, ne sont que 2 % à le faire. Une conclusion tirée de l'analyse vidéo de près de 5 500 traversées. Un bel exemple de l'influence culturelle sur les comportements. B.C.

100 000

C'est le nombre de véhicules 100 % électriques immatriculés depuis 2010 en France, premier pays européen à franchir ce cap. L'Association nationale pour le développement de la mobilité électrique prévoit 350 000 unités pour 2020. B.C.

les risques de se blesser. Oui, mais d'autres études montrent, en parallèle, que l'efficacité des lois sur le port du casque est, elle, beaucoup moins probante.

UN PROBLÈME DE VISIBILITÉ

Une étude de Kay Teschke datant de 2015 s'est intéressée au cas du Canada, où seules certaines provinces disposent de lois d'obligation. Résultat : il y a autant de blessés à la tête dans les provinces avec et sans législation. Le signe que le casque modifie le comportement des cyclistes ?

L'étude montre en tout cas que les accidents de la circulation impliquant un vélo diminuent dans les provinces où cette pratique est plus répandue. Un phénomène de "sécurité par le nombre" déjà pointé par plusieurs autres travaux : plus les cyclistes sont visibles, plus on fait attention à eux.

"L'obligation du port du casque à vélo n'est pas une si mauvaise idée, juge Jake Olivier, mais elle doit s'inscrire dans une stratégie globale de réduction des risques. Seule, elle risque d'être inefficace." Parmi les autres mesures à mettre en place figure notamment le développe-

ment d'infrastructures dédiées à la pratique du vélo. Kay Teschke recommande ainsi des "pistes cyclables séparées physiquement du trafic routier".

Il est à noter que les deux pays dans lesquels les cyclistes sont les plus nombreux, les Pays-Bas et le Danemark, n'ont pas de loi sur le port du casque. T.-L.H.



JAKE OLIVIER

Chercheur en biostatistique et écologie (université de Nouvelle-Galles du Sud)

Seule, l'obligation du port du casque à vélo risque d'être inefficace ; elle doit s'inscrire dans une stratégie globale de réduction des risques



Le glyphosate est-il devenu scientifiquement intouchable ?

Aura-t-on un jour un avis scientifiquement crédible sur la toxicité du glyphosate ? Ou bien ce produit est-il devenu "trop gros pour chuter", comme on le disait des banques en faillite finalement sauvées par l'Etat américain ? On peut se le demander au vu de l'actualité récente du premier pesticide mondial qui, avec ses 800 000 tonnes annuelles vendues (dont 100 000 en France), est devenu un pilier de l'agriculture industrielle.

En tout cas, depuis que cette molécule a été déclarée "cancérogène probable" par le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer, affilié à l'OMS) en mars 2015, l'industrie a déployé tout un réseau d'influence sur la question de sa toxicologie. Pas moins de trois comités d'experts ont ainsi démenti son caractère cancérogène. Alors que la presse et les associations ont établi qu'un nombre significatif des membres de ces comités, voire leurs présidents, entretenaient des liens étroits avec les industriels ; et que ces expertises donnaient une importance disproportionnée à des études confidentielles issues des fabricants.

Plus récemment, des courriels internes à Monsanto qui ont fuité aux Etats-Unis ont révélé que des articles blanchissant le Round-Up, signés par des chercheurs académiques, avaient en fait été écrits par des salariés de Monsanto. Et qu'une "taupe" scientifique de l'entreprise au sein de l'EPA, l'agence sanitaire américaine, se serait vantée d'y avoir "tué une étude" sur la dangerosité du glyphosate. Un contexte qui rend plus nécessaire que jamais le lancement de programmes de recherche strictement indépendants et transparents, permettant de produire une science incontestable.

Yves Sciamma

75 litres

C'est le volume moyen d'urine présent dans un grand bassin (830 000 litres d'eau), selon une étude canadienne, qui en a retrouvé dans toutes les piscines testées. De quoi provoquer, couplé au chlore, des infections oculaires ou respiratoires. F.C.

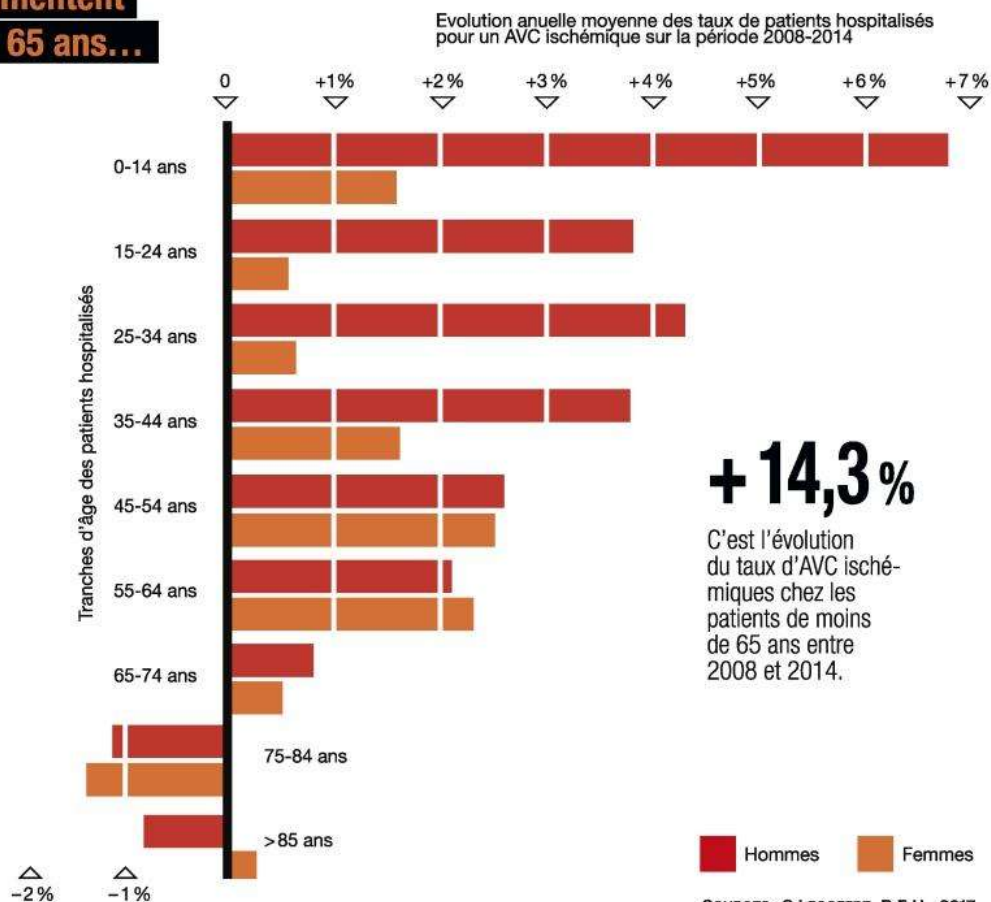


Santé publique

De plus en plus de jeunes adultes sont touchés par des AVC

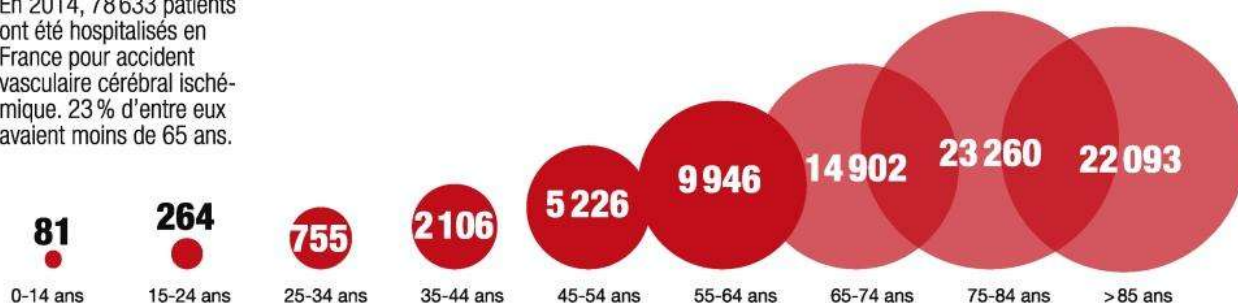
Les accidents augmentent chez les moins de 65 ans...

Entre 2008 et 2014, le taux de patients hospitalisés pour un accident vasculaire cérébral ischémique (dû à un apport sanguin insuffisant dans le cerveau, il représente 80 % des AVC) a augmenté sensiblement pour toutes les catégories d'âge inférieures à 75 ans, hommes et femmes confondus. Mais la hausse est particulièrement importante chez les moins de 65 ans. Ce taux baisse en revanche pour les personnes plus âgées : -2,1 % en moyenne pour les plus de 65 ans.



... qui représentent désormais un quart des hospitalisations

En 2014, 78 633 patients ont été hospitalisés en France pour accident vasculaire cérébral ischémique. 23 % d'entre eux avaient moins de 65 ans.



Nombre de patients hospitalisés pour un AVC ischémique en 2014 par classe d'âge

B. BELLANGER

Profitez de cette offre spéciale

réservée à nos lecteurs

Abonnez-vous à SCIENCE & VIE



57,90€
seulement
au lieu de ~~87,90€*~~

**1 an - 12 numéros
+ 6 hors-séries**

34%
de réduction

PRIVILÈGE ABONNÉ

Votre magazine vous suit partout !

La version numérique vous
est **OFFERTE** avec votre
abonnement papier.

BULLETIN D'ABONNEMENT à compléter et à retourner dans une enveloppe affranchie au service abonnements :
SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE ET VIE - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Disponible sur
Kiosquemag.com

SV1196



34%
de réduction

☐ **OUI, je m'abonne à SCIENCE & VIE :**
1 an (12 numéros) + 6 hors-séries
pour **57,90€** au lieu de ~~87,90€*~~. **930131**



**Près de
30%**
de réduction

☐ **Je peux acquérir
12 numéros de SCIENCE & VIE**
pour **37,90€** au lieu de ~~54€*~~. **930149**

> J'INDIQUE MES COORDONNÉES

Nom/Prénom :

Adresse :

Code Postal : Ville :

Tél : Grâce à votre numéro, nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement.

Votre email est indispensable pour créer votre accès à l'abonnement numérique sur notre site www.kiosquemag.com

Email :

☐ Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de Science&Vie (groupe Mondadori).

> JE CHOISIS MON MODE DE PAIEMENT

☐ **Je règle par chèque postal ou bancaire à l'ordre de Science&Vie.**

☐ **Je règle par CB :**

Expire fin

Cryptogramme

(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Date et signature obligatoires :

**Science&Vie le journal de tous ceux qui
veulent vivre en intelligence avec le monde.**

*Prix de vente en kiosque. Offre valable en France métropolitaine jusqu'au 31/07/2017. Je peux acquérir séparément chacun des numéros de Science&Vie au prix de 4,50€, chacun des hors-séries pour 5,50€ et chacune des Editions spéciales au prix de 5,95€ frais de port non inclus. Votre abonnement vous sera adressé dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement. Vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnements ou via le formulaire de rétractation accessible dans nos CGV sur le site www.kiosquemag.com. Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique destiné à Mondadori Magazines France pour la gestion de son fichier clients par le service abonnements. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent en écrivant à l'adresse d'envoi du bulletin. J'accepte que mes données soient cédées à des tiers en cochant la case ci-contre : ☐

LES VITAMINES B PRÉSERVERAIENT DE LA POLLUTION

Une étude internationale suggère que l'ingestion régulière de vitamines B6, B9 (acide folique) et B12 atténue les dommages des particules fines PM2,5 sur l'ADN de nos cellules. On trouve ces vitamines dans les épinards, les lentilles, les noix, la viande... "PNAS", fév. 2017

JEÛNER CINQ JOURS PAR MOIS, C'EST BON POUR LA SANTÉ

Tient-on le régime de l'été ? Ingérer, cinq jours consécutifs par mois, moins de la moitié de son apport calorique habituel, dont très peu de protéines, semble en tout cas bénéfique. Après trois mois de tests sur 71 cobayes, le gérontologue Valter Longo et ses collègues ont observé une perte de poids, une baisse de tension artérielle et une diminution du taux d'hormone IGF-1, suspectée d'accélérer le vieillissement. Et cette pratique semble plus facile à tenir que d'autres régimes : on relève seulement 25 % d'abandons. Cette diète, néanmoins plus risquée qu'un régime hypocalorique classique, nécessite d'en parler d'abord à son médecin. "Sci. Transl. Med.", fév. 2017



TROP DE SPORT NUIT À LA LIBIDO MASCULINE

Une enquête menée auprès de 1 000 hommes montre que ceux qui pratiquent plus de 10 heures de sport par semaine représentent 65 % des hommes à la libido la plus faible. Un entraînement trop fréquent nuirait donc à leur activité sexuelle. "Med. Sci. Sports Exerc.", fév. 2017

FAIRE DES ENFANTS, ÇA CONSERVE... SUR LE TARD

Arrivées à l'âge de 60 ans, les personnes ayant eu au moins un enfant vivent deux ans de plus que celles sans enfant. Un phénomène observé surtout chez les hommes par les chercheurs suédois, qui ont étudié plus de 1,4 million de personnes. "Journ. of Epid. & Comm. Health", mars 2017

LES VOITURES DE COULEUR VIVE ONT MOINS D'ACCIDENTS

Une couleur pétante peut sauver des vies ! C'est ce que suggère une étude menée pendant trois ans sur une grande compagnie de taxis de Singapour, dont les 16 700 voitures sont de couleur jaune ou bleue. Les résultats sont sans appel : les voitures jaunes présentent 9 % de risque d'accident en moins que les voitures bleues. Une différence due à la plus grande visibilité des voitures jaunes, surtout la nuit : l'écart d'accidents est deux fois plus marqué sous l'éclairage nocturne. De quoi motiver un choix de couleur audacieux à l'achat d'un véhicule ! Selon les auteurs de l'étude, repeindre tous les taxis de Londres en jaune éviterait 1 706 accidents tous les ans... "PNAS", mars 2017



SHUTTERSTOCK - PITTAYA/Flickr - SHUTTERSTOCK/ALEX VERESOVICH - BRUNO COUTIER/GNO/PICTURETANK



QUI FAIT TRAVAILLER 30 MINUTES PAR JOUR SA MÉMOIRE LA DOPE

Retenir 72 mots en 8 minutes, puis les réciter sans se tromper un quart d'heure après ? Des chercheurs américains et allemands assurent qu'avec le bon entraînement, cette capacité serait à la portée de tous. 51 volontaires ont testé différents exercices de mémoire 30 minutes par jour pendant six semaines. Et l'un d'eux, la "méthode des loci", qui consiste à imaginer une route dont les étapes seraient les mots à retenir, s'est révélé particulièrement efficace. Avant l'étude, les individus renaient en moyenne 30 mots sur 72 ; ils se souvenaient de plus du double après avoir suivi durant 6 semaines la méthode des loci. "L'entraînement a accru chez ces sujets la connectivité entre les réseaux impliqués dans la mémoire et la gestion visuo-spatiale", révèle Martin Dresler, professeur de neurosciences et co-auteur de l'étude. Il ne tiendrait donc qu'à nous de sublimer nos capacités mémorielles. "CellPress Webinar", mars 2017

L'IBUPROFÈNE EST À ÉVITER PENDANT LA GROSSESSE

Les chercheurs de l'Inserm estiment que la prise de plusieurs antalgiques pendant la grossesse compromet l'équilibre hormonal du fœtus masculin. Au cours du premier trimestre, l'ibuprofène pourrait même entraîner des malformations génitales. "Scient. Reports", fév. 2017

LES VIBRATIONS AIDERAIENT VRAIMENT À MAIGRIR

Une expérience sur des souris semble confirmer les bienfaits allégués de la plateforme vibrante Power Plate®. 20 minutes de ces vibrations par jour pendant 3 mois leur a fait perdre autant de poids que 45 minutes de marche sur tapis roulant. "Endocrinology", mars 2017

BIEN DORMIR, C'EST UN PEU COMME GAGNER AU LOTO

Grâce à l'analyse des habitudes de sommeil de plus de 30 500 participants, des chercheurs britanniques montrent que les personnes qui dorment bien gagnent deux points à un test de bien-être psychologique... comme celles qui gagnent environ 200 000 € au Loto. "Sleep", mars 2017

LES JEUX VIDÉO VIOLENTS NE DÉSENSIBILISENT PAS

Les joueurs de jeux vidéo violents ne sont pas moins empathiques, selon une étude qui bat en brèche une idée étayée par nombre de recherches. Des psychologues allemands et italiens ont fait passer une IRMf à 15 hommes accros aux jeux vidéos violents, et autant de non-joueurs. Aucune différence n'a été décelée dans leurs cerveaux ! Or, au moment du test, les participants n'avaient pas joué depuis au moins 3 heures. L'empathie ne semble donc pas affectée sur la durée, et la désensibilisation observée dans les études précédentes, menées pendant ou juste après le jeu, ne serait que transitoire. De plus, l'agressivité des joueurs n'était pas accrue. "Frontiers in Psychology", mars 2017



L'hybride qui dope son autonomie grâce au solaire

Une berline électrique qui se branche sur une prise de courant, on connaissait déjà. Mais qui se recharge aussi grâce à l'énergie solaire, un peu moins... C'est pourtant bien ce que propose le japonais Toyota, pionnier de la discipline, avec cette Prius hybride rechargeable qui débarque aujourd'hui en concession. Le toit accueille un grand pan-

neau photovoltaïque (fabriqué par Panasonic et proposé de série dans l'Hexagone) qui produit de l'électricité pour recharger la batterie dans plusieurs configurations.

A l'arrêt, lorsque la voiture est en stationnement par exemple, les cellules photovoltaïques rechargent une batterie (nickel-hydrure métallique) intermédiaire qui, une fois complètement

chargée, fournit un appoint d'énergie à la batterie hybride principale. Autre scénario : quand le véhicule roule, les panneaux chargent la batterie auxiliaire de 12 volts afin d'alimenter les accessoires électriques (autoradio, phares, essuie-glaces...), réduisant d'autant la sollicitation de la batterie hybride servant à la propulsion. Dans l'habitacle,

l'ordinateur de bord indique le nombre de kilowattheures ainsi gagnés. Un dispositif qui pourrait, selon le constructeur, "améliorer de 2 à 3 % le rendement du système hybride".

E.T.-A.

Prix : à partir de 37 000 €
Rens. : www.toyota.fr



Un coach sportif intelligent dans les oreilles

Vi est une intelligence artificielle (IA), conçue par LifeBeam, intégrée dans des écouteurs (signés Harman/Kardon) et destinée à prodiguer des conseils aux sportifs (marche, course, vélo). Grâce à plusieurs capteurs, les écouteurs surveillent vos paramètres physiologiques (cœur, sudation...) et votre environnement (pente, météo...). En fonction de ces informations, de vos objectifs sportifs et de l'historique de vos entraînements, l'IA vous fera des suggestions, vous encouragera ou encore pourra, à la demande, vous souffler à l'oreille votre rythme cardiaque. Une application dédiée (iOS et Android) sur smartphone (connexion Bluetooth) rendra compte de vos progrès. Vi diffuse aussi de la musique et permet de répondre aux appels. Sa batterie annonce de 8 à 12 heures d'autonomie.

S.F.

Prix : env. 280 €. Rens. : www.getvi.com





< Les panneaux solaires installés sur le toit permettent d'augmenter l'autonomie électrique de 5 km par jour.

1. Les cellules photovoltaïques génèrent une puissance maximale d'environ 180 watts.

2. Le calculateur contient un convertisseur de tension afin de générer un flux électrique continu.

3. La batterie solaire stocke ce surplus d'énergie.



LE COIN DES PROTOTYPES

Un coffre autonome qui vous suit partout

Le centre de recherche américain de Piaggio dédié à l'innovation et aux mobilités alternatives vient de présenter le prototype Gita. "Un subtil mélange de robotique, d'ingénierie et de design", insiste le patron du centre, Michele Colaninno. Il s'agit en effet d'un coffre cylindrique d'une capacité de 18 kg et de 66 cm de haut, équipé de deux roues latérales et d'un moteur électrique, qui lui permet de circuler pendant 8 heures à 35 km/h. L'engin, autonome, est bardé de capteurs à ultrasons, de caméras et d'un système gyroscopique. Il se connecte à une ceinture que porte son propriétaire, si bien qu'il peut le suivre comme son ombre... Pratique pour faire les courses! **E.T.-A.**

Rens. : <http://gita.piaggio-fastforward.com>



Le feu arrière connecté pour casque de moto

Les motocyclistes représentent moins de 2 % des usagers de la route... mais 18 % des tués (chiffre 2016). C'est pour améliorer leur sécurité que Cosmo Connected propose ce boîtier magnétique qui se fixe sur une base autocollante adaptable à tout casque de moto. Il comporte un feu à LED utilisable comme feu de détresse et qui s'allume en cas de décélération, détectée par l'accéléro-

mètre du boîtier, qui intègre aussi un gyroscope. Connecté en Bluetooth au smartphone, il peut aussi prévenir automatiquement les secours en cas de chute, en transmettant les coordonnées GPS de l'accident et les informations médicales du motard. L'ensemble pèse 150 g et sa batterie, rechargeable sur port USB, annonce 8 heures d'autonomie. **B.P.**

Prix : env. 100 €
Rens. : <http://cosmoconnected.com>



La maison en carton qui se monte en une journée

Une maison modulaire en carton: voilà ce que propose le fabricant néerlandais Fiction Factory. Constituée d'autant de modules de 1,2 m de profondeur que l'on veut, la Wikkellhouse peut adopter n'importe quelle longueur. Pas besoin de fondations, ces éléments (500 kg chacun) sont assemblés les uns derrière les autres sur un simple châssis et sont pris en sand-

wich entre une façade vitrée et un fond opaque. Comptez environ une journée pour un ensemble de trois modules. *Quid de l'étanchéité?* La Wikkellhouse est recouverte d'une enveloppe en Gore-Tex et en bois naturel. Elle est disponible en France, mais la liste d'attente est déjà longue. **E.T.-A.**

Prix: à partir de 25 000 € (pour une cabane de 15 m² à 3 segments)
Rens.: www.wikkellhouse.com



Des LED pour apprendre à jouer de la guitare

Parvenir à jouer un morceau de guitare en seulement 60 secondes, c'est ce que promettent les créateurs du Fret Zepelin, un circuit de LED flexible et ultraplat qui se glisse sous les cordes et illumine les doigts à effectuer selon le morceau sélectionné dans l'application mobile. Plus besoin de déchiffrer une partition! Les LED guident vos doigts le long du



manche et donnent le tempo. L'application intègre un programme d'apprentissage ainsi qu'une aide pour accorder la guitare. Mais rien ne garantit que ce système vous épargne les heures de pratique nécessaires à la maîtrise d'un riff... **A.V.**

Prix: env. 190 €
Rens.: www.fretzepelin.com

Un pot à booster les plantes dépolluantes

Les plantes présentées comme dépolluantes tirent une grande part de leur capacité à absorber les produits toxiques de leurs racines et des micro-organismes présents dans la terre. Pour nettoyer l'atmosphère de nos intérieurs, elles ont donc besoin d'une ventilation racinaire optimale, ce que garantit le pot Airy et son système de lamelles, qui facilitent les échanges entre l'air et les racines. Selon ses concepteurs, l'Airy multiplierait par huit le pouvoir des plantes dépolluantes. Ce que confirme l'institut de recherche allemand Fraunhofer, qui a procédé à des tests. **A.V.**



Prix: à partir de 80 €
Rens.: www.airy.de



✓ La Wikkellhouse est composée de modules de même taille qui s'additionnent.

Le flotteur analyseur de l'eau de la piscine

Ofi est un capteur flottant et lumineux capable d'analyser en temps réel la qualité de l'eau d'une piscine. Il est équipé de sondes mesurant pH, taux de chlore, salinité... Et de LED (verte, bleu, rouge) signalant l'état du bassin d'un simple coup d'œil. Ofi peut aussi être connecté à un smartphone en Bluetooth ou via les réseaux longue portée Sigfox et LoRa.

E.T.-A.



Prix : env. 400 €. Rens. : www.oficoncept.com

Le drone à selfie caché dans une coque de smartphone

La technologie sait se mettre au service de l'ego, comme en témoigne le drone Selfly – contraction de *selfie* (autoportrait photographique) et de *fly* (voler). Le Selfly est une coque de téléphone de 9 mm d'épaisseur qui cache un petit drone pliant d'à peine 70 g, piloté depuis une application (iOS ou Android) installée sur le smartphone. Ce drone permet de se prendre soi-même en photo (8 millions de pixels) et de se filmer (full HD), en déclenchant la prise de vue depuis l'application. Les données sont transmises en wi-fi, et le cadrage est facilité par la

retransmission en direct du flux vidéo sur le smartphone. La batterie lithium-ion polymère de 650 mAh du Selfly se recharge complètement en 25 min, pour une autonomie revendiquée de 5 min en vol. Plusieurs modèles sont prévus pour s'adapter aux principaux smartphones du marché. B.P.

Prix : env. 140 €
Rens. : www.selfly.camera



△ Contraction de *selfie* et de *fly*, le Selfly est un drone pour se prendre soi-même en photo.



Pourquoi le cœur est-il à gauche ?

Question de Fabien Duboc, Le Havre (76)

Simplement parce qu'il s'imbrique mieux avec les autres organes de ce côté. Car le cœur lui-même n'est pas symétrique : il est plus gros du côté gauche, qui propulse le sang dans le corps. Et il trouve plus de place à gauche, où le poumon n'est constitué que de deux lobes (au lieu de trois du côté droit).

D'ailleurs, l'inversion du cœur est une maladie (touchant moins d'une personne sur 10 000). Une maladie génétique. Car le schéma d'organisation de tous les vertébrés – des baleines aux pies en passant par l'homme – est déterminé par l'action de gènes dits "homéotiques", qui déterminent la place des organes les uns par

rapport aux autres selon les axes antéro-postérieur (devant-derrrière) et dorso-ventral (dessus-dessous). Chez tous les vertébrés, ces gènes, actifs dès la formation de la première cellule issue de la fécondation, commandent une latéralisation.

HASARD DES MUTATIONS

Mais alors, pourquoi ces gènes ont-ils été retenus et transmis de génération en génération ? La plupart des biologistes pensent que l'apparition, via l'évolution, d'un organe d'un côté et non de l'autre serait due à des mutations génétiques survenues au hasard. Le généticien Clifford Tabin, de la Harvard Medical School (Etats-Unis), explique ainsi

qu'en apparaissant à un endroit, l'organe a pu favoriser le fonctionnement de l'ensemble.

C'est en fait sur la question inverse que se sont concentrés les spécialistes : pourquoi la grande majorité des animaux sont-ils symétriques ? Et la réponse est : la locomotion. De nombreuses études ont en effet montré qu'une démarche équilibrée et linéaire implique nécessairement un corps symétrique dans l'axe droite/gauche. A quelques exceptions près (le homard, par exemple), les animaux mobiles sont en effet tous symétriques. Et ainsi la symétrie s'est-elle imposée... mais pas jusqu'à positionner notre cœur au centre. **K.B.**



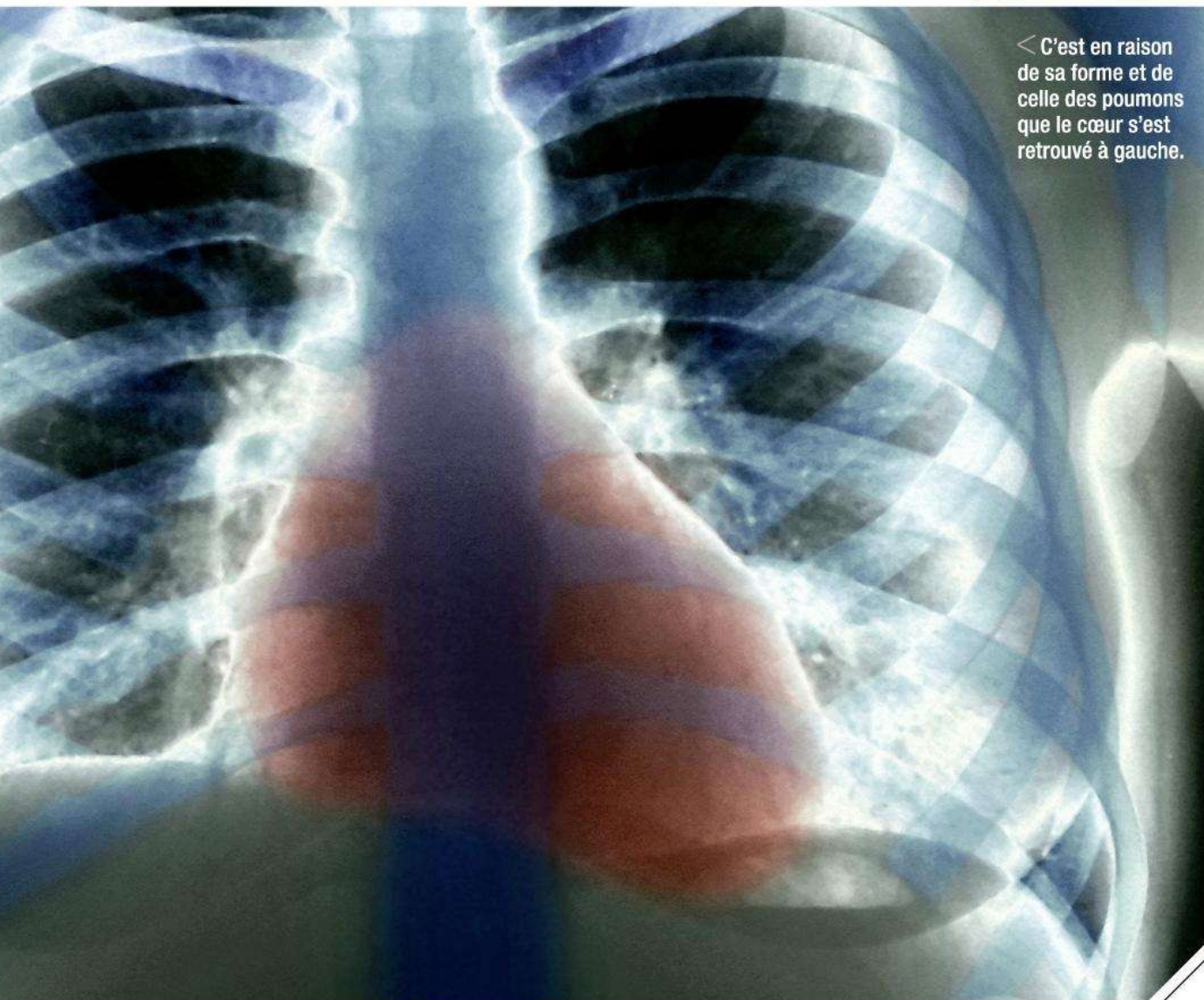
Comment escargots et limaces s'orientent-ils vers leur nourriture ?

Question de Denis Tholome, Landen (Belgique)

Etant dotés d'une vision rudimentaire, les gastéropodes utilisent tout simplement leur odorat. "Grâce à leurs tentacules, ils détectent les composés organiques volatils émis par les plantes", explique Piotr Bursztyka, de l'Institut de recherche en sémiologie et éthologie appliquée. Ils en possèdent deux paires : les plus longs, dits "céphaliques", sont experts dans la détection à dis-

tance. Ce sont eux qui dirigent l'animal vers la source de l'odeur. Au contact de l'aliment, les tentacules "oraux" prennent ensuite le relais pour en apprécier la composition. Dernier test : le gastéropode goûte avec ses lèvres si la nourriture lui convient. Et le chercheur de préciser que "ses goûts alimentaires peuvent évoluer par apprentissage au gré de ses expériences". **N.P.**



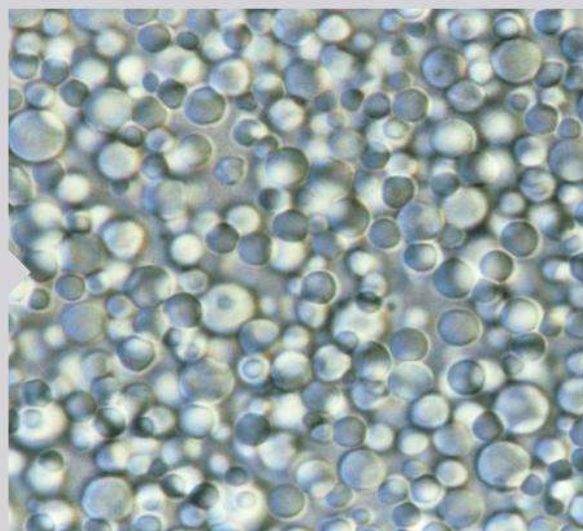


< C'est en raison de sa forme et de celle des poumons que le cœur s'est retrouvé à gauche.

Qu'est-ce qui donne au lait sa couleur blanche ?

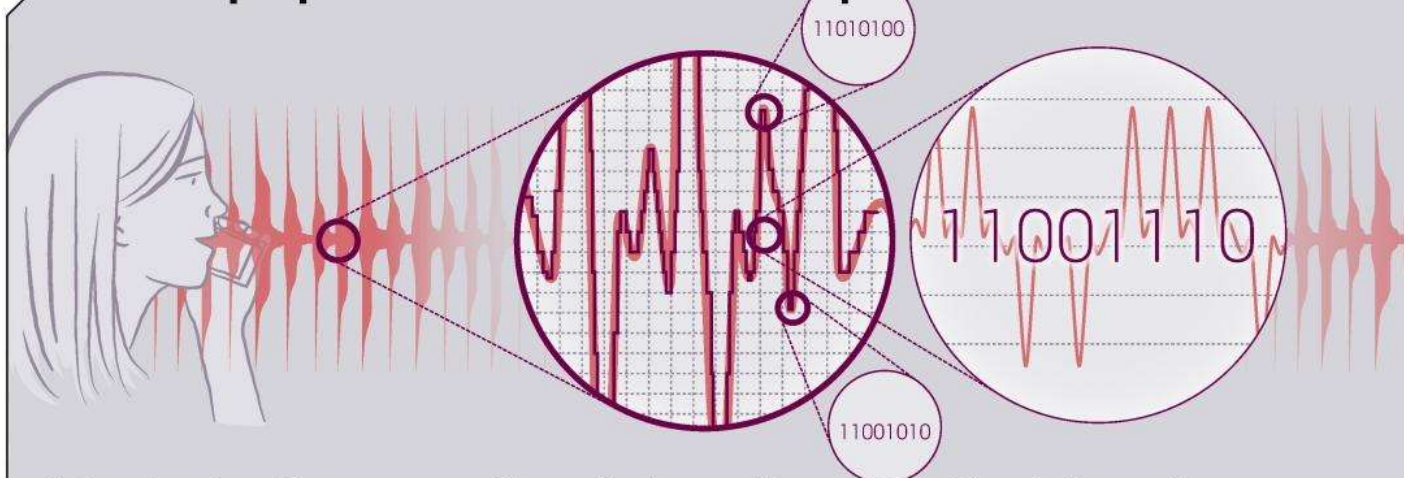
Question de Julien Maurel, internet

C'est vrai ça, après tout, sachant qu'il est composé à 90 % d'eau ! Ce sont en fait les protéines et les lipides qui suffisent à l'opacifier. Et comme ils ne contiennent aucun pigment, le lait paraît blanc. Voilà aussi pourquoi le lait des femmes, moins riche en protéines que celui des vaches, est plus transparent. *"Le lait peut même être légèrement bleu ou jaune"*, précise Patrick Haffner, au Muséum national d'histoire naturelle, car sa composition varie d'une espèce à l'autre : celui de certains mammifères marins, particulièrement riche en lipides, est légèrement jaune. C.H.



ZEPHYR/SPL - CNRI/SPL/COSMOS - A.DAGAN

Trois étapes pour transformer l'onde acoustique en onde radio

**1 La voix est captée en un signal analogique...**

Le micro transforme l'onde acoustique en un signal électrique analogique. Il est caractérisé par une infinité de fréquences et d'amplitudes.

2... qui est converti en un signal numérique...

Ce signal est échantillonné toutes les 125 microsecondes et quantifié sur une échelle de 256 niveaux. Chaque point est codé sur 8 bits (de valeur 0 ou 1).

3... émis sous forme d'onde radio

Cette succession de 0 et 1 est transposée sur une onde électromagnétique (de fréquence 2,4 Ghz pour la 4G), et émise par l'antenne du téléphone.

Comment le téléphone transmet-il la voix ?

Question d'Adrien Baud, Vincennes (94)

Quoi que l'on raconte au téléphone, le traitement de notre voix est vertigineux ! Elle est d'abord transformée dans notre combiné : l'onde acoustique est convertie en onde électrique grâce au micro, puis en une suite de 0 et de 1 (des bits) via des programmes informatiques, qui sont ensuite émis sous la forme d'une onde radio par l'antenne (voir infographie). Chaque étape est ici prévue pour minimiser la place occupée par le message sur le réseau. On est donc loin d'une qualité hi-fi : seules les fréquences

comprises entre 300 et 3 400 Hz sont prises en compte par le réseau du téléphone, alors que l'oreille humaine perçoit les fréquences jusqu'à 20 000 Hz ! De plus, les spécialistes estiment que la voix humaine devrait au moins être codée sur 4 096 valeurs pour une restitution optimale – le téléphone en utilise 256.

A l'autre bout de la ligne, après avoir été capté par une station, un satellite, ou après avoir transité via la fibre optique, le message est réémis sous la forme d'une onde radio par une antenne relais. Cette onde

est reconnue par le téléphone de l'interlocuteur grâce à un code établi au début de la communication.

UN SIGNAL FRACTIONNÉ

Le message numérique qu'elle porte est alors décodé pour être finalement émis sous la forme d'une onde acoustique, de nouveau grâce à la vibration de membranes – de l'enceinte ou des écouteurs. Le tout en seulement 50 microsecondes. Car le signal est fractionné en petits morceaux de 20 microsecondes qui peuvent emprunter dif-

férents canaux. Ainsi, il n'est pas rare que la réception finale de ces morceaux de conversation se fasse dans le désordre. Pour remettre le signal dans l'ordre, chaque téléphone est donc doté d'un programme informatique appelé "real time protocole" qui stocke les portions de message en avance et traite en priorité celles qui sont en retard.

Et pour éviter les pertes – chacun a déjà entendu ces grésillements, blancs ou sons distordus –, le signal numérique est corrigé en permanence. Ainsi, il n'est



4 Et vice-versa lors de la réception

Le signal numérique est reconverti en signal analogique, *in fine* transmis par une onde acoustique par le haut-parleur.

pas émis par l'antenne du téléphone sous sa forme la plus simple, mais formaté par un codage correcteur d'erreur fondé sur la redondance. *"Typiquement, on pourrait décider d'émettre trois fois chaque bit, détaille Philippe Ciblat, à Telecom ParisTech. Ainsi, à la réception, si le premier triplet reçu est par exemple 001, on en déduit qu'il s'agit probablement d'un 0."*

En pratique, les codages utilisés sont plus complexes, mais l'idée reste la même: permettre une comparaison entre la structure du signal reçu et celle attendue. Ainsi les programmes logés dans le téléphone – mais aussi ceux des stations relais – peuvent corriger le signal à l'arrivée ou demander sa réémission. Dans le cas du réseau 4G, par exemple, les deux stratégies sont mises à profit conjointement. **M.G.**

D'où vient la sensation de satiété ?

Question de Pierre Lardon, Ternay (69)

Elle naît au cœur du cerveau, dans l'hypothalamus, une petite zone qui régule l'appétit, le sommeil ou la température corporelle, lui-même stimulé par une foule de signaux physiologiques, nerveux et hormonaux. Ainsi, lors du repas, le gonflement de l'estomac est perçu par le cerveau comme un signe que les besoins en nourriture sont satisfaits. Puis l'arrivée des aliments dans le système digestif stimule la sécrétion de molécules et d'hormones coupe-faim

qui activent les neurones anorexigènes et inhibent les orexigènes: le glucagon, sécrété par le pancréas; la cholecystokinine ou le peptide glucagon-like-1, libérés par l'intestin grêle; la leptine, issue des tissus adipeux...

LE RÔLE DE NOTRE MICROBIOTE

Fin 2014, une étude menée par Sergueï Fetissoff (Inserm/université de Rouen) a même montré que les bactéries de nos intestins (le microbiote) participent au processus. Elle montre chez la souris que la bactérie

intestinale commune *E. coli* produit une protéine qui accélère le déclenchement de la satiété: une vingtaine de minutes après le début du repas, lorsque les besoins énergétiques de l'organisme sont comblés, la sensation de satiété doit survenir. Mais des facteurs psychologiques, socioculturels ou l'alimentation elle-même influent sur ce processus. Ainsi, angoisse ou plaisir de manger peuvent atténuer la satiété et nous inciter à nous nourrir sans qu'on n'en ait physiologiquement besoin. **K.B.**

La Terre pourrait-elle être éjectée de son orbite par un astéroïde ?

Question de Jérôme Alberola, Seynod (74)

"Clairement, non!", répond Alessandro Morbidelli, à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Un petit calcul suffit à comprendre pourquoi: les astéroïdes les plus gros pèsent environ 1/10000 de fois la masse de la Terre – soit un corps de quelque 300 km de diamètre –, et se déplacent à une vitesse environ 1/3 moins importante que la nôtre. "En multipliant 1/10000 par 1/3, on obtient l'amplitude de la déviation attendue: si un de ces gros astéroïdes nous percutait, notre trajectoire ne changerait que de 1/30000", calcule l'astrophysicien. Sans compter qu'ils n'ont aucune chance de croiser notre route puisqu'ils gravitent trop loin, dans la ceinture d'astéroïdes. Du côté des "géocroiseurs", même constat: la plupart ne dépassent pas 1 km. "Les plus gros objets capables d'impacter la Terre ont un diamètre d'environ 10 km. Ils sont 10000 fois moins massifs que les gros astéroïdes de la ceinture", précise le chercheur. En cas d'impact, la déviation ne serait donc que de 3 milliardièmes. Autant dire rien.

C.H.



Projet Lutétium : une chaîne YouTube de physique artistique

Le ballet des fluides et des gouttes

Ces vidéos sont de petits bijoux. Des gouttes qui rebondissent lentement, d'abord une, puis deux, puis dix. Un filet de liquide fluo qui bat comme un drapeau avant de s'animer en tourbillons symétriques. Une larme de colorant bleu vif dans un bain d'huile qui se disperse en des milliers de gouttelettes d'un délicat dégradé azur... Un groupe de jeunes physiciens et apprentis ingénieurs de l'ES-PCI, à Paris, s'amuse à filmer des expériences de mécanique des fluides. Enfin, "s'amuse"...

PRIORITÉ À LA RIGUEUR

"On raconte souvent que les youtubers ont commencé dans leur garage, réagit Guillaume Durey, qui porte le projet. Peut-être si vous êtes très charismatique... Mais je ne suis pas du tout sûr qu'on le soit. Alors on s'est fixé d'être irréprochables techniquement." C'est en revenant d'un stage au Canada que le doctorant a eu envie de suivre l'exemple donné par les chaînes YouTube anglo-saxonnes qu'il passait son temps à regarder. "En particulier *The Brain Scoop*, précise-t-il. *Emily Graslie* a un enthousiasme contagieux. C'est mon hé-

roïne !" Guillaume Durey cite aussi Deep Look, "une chaîne du réseau public PBS qui propose des vidéos de biologie animale", World By Charlie, une traversée des parcs nationaux américains. Et, surtout, Periodic Videos, "la première chaîne de chimie sur YouTube ! Un chercheur de l'université de Nottingham et un journaliste consacrent une vidéo à chaque élément du tableau périodique".

Pour le jeune chercheur, ces chaînes ont fait prendre conscience que la communication des instituts de recherche doit évoluer. C'était en 2014. Il a ensuite fallu deux ans à la petite équipe pour trouver les financements, "quelques milliers d'euros pour construire un studio et acheter une caméra". Le temps aussi de trouver un nom au projet : Lutétium (à décrypter dans leurs vidéos...). Et de s'entourer d'artistes. Cela fait toute la différence : les jeunes physiciens ont obtenu le concours de deux élèves du Conservatoire de Paris qui ont composé des musiques originales pour faire danser leurs gouttes et vriller leurs liquides. Un mélange parfaitement dosé de physique, d'art et de pédagogie.

Mathilde Fontez

► **Projet Lutétium**

► De Guillaume Durey, Mathias Kasiulis, Hoon Kwon, Quentin Magdelaine, Guilhem Mauran...

► site : www.lutetium.paris.fr

► Chaîne YouTube : https://www.youtube.com/channel/UCkwx826rwd3pDEoybx_kZZQ

> Sur internet, la mécanique des fluides s'anime, au rythme de musiques composées pour la circonstance.

LE PROJET LUTÉTIUM



La physique joue les stars

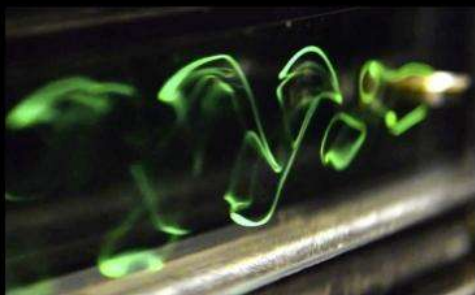
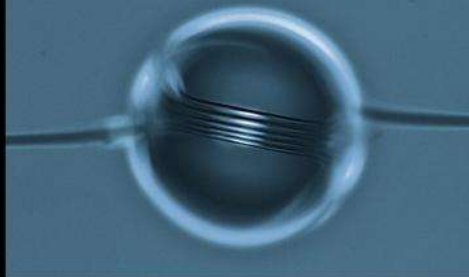
Il y a des dizaines et des dizaines de youtubeurs passionnés de physique. Certains expliquent la mécanique quantique dans un coin de la maison. D'autres dansent, dessinent, jouent avec des marionnettes. Nous en avons sélectionné quatre.

> **MinutePhysics :**

le modèle du genre

Un synopsis affûté et un bon coup de crayon suffisent à Henry Reich pour expliquer n'importe quel concept de physique en une minute – parfois il triche et pousse jusqu'à une minute trente. Des bonshommes bâtons,

des flèches dans tous les sens... ce passionné de physique se filme (enfin, uniquement la main) en train de dessiner avant d'accélérer son film et de le synchroniser avec son phrasé saccadé. C'est incroyablement efficace. Il a commencé en expliquant la gravité en 2011, avant d'enchaîner avec la matière noire et la dualité onde/corpuscule. Pourquoi le Système solaire est-il plat ? Vaut-il mieux courir ou marcher sous la pluie ? La quatrième dimension ; le principe de relativité... Il a même couvert la découverte du boson de Higgs en trois vidéos tellement claires qu'elles ont été reprises



sur YouTube

par les médias américains. Ces vidéos sont en anglais, mais la plupart existent aujourd'hui en version sous-titrée. www.youtube.com/user/minutephysics

> La Physique autrement: l'ovni

Ce n'est pas à proprement parler une chaîne YouTube, mais ce site, créé à l'origine par deux enseignants-chercheurs, Julien Bobroff et Frédéric Bouquet, regroupe toutes les productions, très diverses, toutes consacrées à la physique. Des vidéos, mais aussi des infographies, des sites. Le projet -195,79°C, consacré aux prouesses de

l'azote liquide, est particulièrement savoureux. Et le film réalisé en stop-motion *Physique et Caféine* tout simplement parfait. hebergement.u-psud.fr/supraconductivite

> Florence Porcel: l'incontournable

Elle se présente comme la "community manager de l'Univers" et s'amuse à parler dans la même chronique de Titan, de comètes et d'astéroïdes, de relativité restreinte et de Kevin Spacey... Si le genre qu'elle a choisi est plus classique – celui de la bloggeuse, face caméra, en conversation avec l'internaute –, elle se distingue par son ton, piquant,

drôle, théâtral... irrésistible! youtube.com/FlorencePorcel

> Chemical Bouillon: les alchimistes

Ce ne sont pas des scientifiques, mais trois artistes tombés amoureux de la matière étrange: fluides magnétisés, encres fluorescentes, cristaux irisés... Depuis trois ans, ils filment des expériences physico-chimiques, traquant inlassablement la naissance de structures graphiques. Filmées avec un éclairage parfait qui met en valeur les reliefs, leurs vidéos de ferrofluides sont particulièrement saisissantes. youtube.com/chemicalbouillon

LIVRE

► La Vie secrète des arbres

► De Peter Wohlleben
► Ed. Les Arènes
► 272 pp., 20,90 €



Les promeneurs du dimanche admirent leur taille imposante, leurs formes biscornues... Or là n'est pas l'essentiel, selon Peter Wohlleben: les arbres sont des êtres sensibles, souvent solidaires lorsqu'il faut protéger les plus faibles, parfois irrévérencieux à l'image du hêtre, bourreau des chênes. Quelle émotion, au passage, de découvrir le sort funeste des arbres des villes, condamnés à la solitude et à la rudesse des canalisations souterraines. Sous une plume limpide, l'auteur nous fait partager son expérience de garde-forestier et appuie son propos d'études scientifiques récentes – même s'il se laisse parfois aller à la spéculation. Une vraie réussite. **V.N.**

LIVRE

► Les Maladies chroniques - Vers la 3^e médecine

► D'André Grimaldi, Yvanie Cailé, Frédéric Pierru et Didier Tabuteau
► Ed. Odile Jacob
► 784 pp., 24,90 €



Variole, polio, rubéole... Les épidémies d'hier se font aujourd'hui oublier, mais d'autres pathologies ont pris leur place: les maladies chroniques. Diabète, cancers ou hypertension ont fait naître la "3^e médecine", celle de l'accompagnement. Qu'implique-t-elle? Quel rôle l'organisation de la santé y tient-elle? Aider les patients, guider les aidants et influencer sur les politiques publiques sont les ambitions de ce livre, "pluridisciplinaire et multi-professionnel", comme le souligne son principal instigateur, le professeur André Grimaldi. **B.C.**

7 mai 1867

Nobel dépose le brevet de la dynamite

Les idées les plus généreuses sont parfois compatibles avec le sens des affaires. Fidèle à cette ambivalence, l'industriel suédois Alfred Nobel dépose le 7 mai 1867 un brevet qui doit mettre fin à l'hécatombe d'ouvriers tués par des explosifs instables. Et multiplier, aussi, les bénéfices qu'il réalise en vendant la fameuse, mais redoutée, nitroglycérine.

Nitroglycérine: son nom fait frémir tant elle a provoqué d'accidents spectaculaires. C'est à Paris, au début des années 1850, auprès du chimiste italien Ascanio Sobrero, que le jeune Nobel en découvre l'existence. En mélangeant de l'acide sulfurique, de l'acide nitrique et de la glycérine, Sobrero obtenait une huile, la *piroglicerina*, qui semblait libérer plus d'énergie

que la poudre noire, l'explosif utilisé depuis la fin du Moyen Âge. Cette huile était hélas très instable et le chimiste ne savait pas quoi en faire, si ce n'est se servir de ses vertus vasodilatrices pour soigner les troubles cardiaques. Mais Alfred Nobel perçut, lui, tout de suite, que cette nitroglycérine avait un avenir plus militaire que sanitaire.

ET LA COLLINE S'ENVOLA...

Concevoir des armes était une passion chez les Nobel. Son père Immanuel avait remboursé ses dettes en fabriquant des pièces métalliques pour l'armée russe et développé un concept inédit de mines marines. Comme lui, Alfred est un autodidacte passionné d'inventions. L'idée leur est donc venue d'ajouter de la pirogli-

cerina dans leurs mines explosives. Sans succès. Puis d'essayer de la stabiliser en rajoutant 10% de poudre à canon... Mais Immanuel Nobel n'est pas un chimiste, et ils ne réussissent pas à obtenir une explosion contrôlée.

Doté de meilleures notions, Alfred teste, à la fin du printemps 1862, un nouveau dispositif: il remplit une éprouvette de piroglicerina, la bouche et l'introduit dans un tube d'étain rempli de poudre à canon muni d'une amorce. Il allume l'amorce et jette le tout dans l'eau... provoquant une impressionnante secousse. Il vient de créer un explosif surpuissant. Qu'il s'empresse de breveter dès octobre 1863.

Cette force explosive fascine les militaires et effarouche les civils. "*La*

colline sembla s'envoler", rend compte un journal suédois. De quoi satisfaire les constructeurs de chemin de fer ou les exploitants de mines et de carrières d'un monde qui s'industrialise à grande vitesse.

Pourtant l'huile reste instable. Elle se décompose dans les cahots du transport ou sous l'effet des variations de température. Le 3 septembre 1864, Nobel en fait la cruelle expérience: une manipulation fait exploser leur fabrique, tuant son frère Emil et plusieurs ouvriers.

Des investisseurs le suivent néanmoins pour fonder une première usine sur un site isolé, dont la production démarre en mars 1865. Une autre suit la même année au sud de Hambourg, qui livre l'huile explosive dans le monde entier. Il brevète

SCIENCE&VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

1940 UN OUTIL STRATÉGIQUE POUR LES MILITAIRES

Alors que la France est en passe d'être occupée, *La Science & la Vie* instruit sur la manière de faire sauter les ponts! Une opération stratégique qui nécessite un complexe "calcul des charges et des dispositifs de mise de feu" préparé "long-temps à l'avance" et réalisé "par des troupes spécialisées du génie. [...] L'armée utilise principalement, pour les destructions d'ouvrages d'art: la mélinite, les cheddites, les dynamites et la poudre noire", opportunément placées. **S&V n° 276**

COMMENT LE GENIE FAIT SAUTER LES PONTS

par Marcel MONTMAY



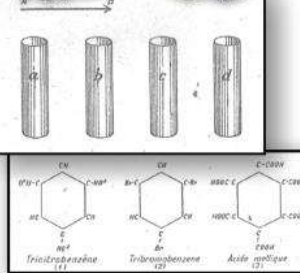
1941 ON A TROUVÉ ENCORE PLUS PUISSANT

"La désintégration des atomes [...] nous fournirait sans doute les explosifs les plus puissants qu'il soit possible de découvrir. Les expériences récentes de Joliot-Curie (sur l'uranium) montrent que la libération de l'énergie intratomique n'est peut-être pas un rêve irréalisable." L'avenir proche le confirmera... **S&V n° 290**

LE CHIMISTE PEUT-IL TROUVER DES EXPLOSIFS PLUS PUISSANTS QUE LES EXPLOSIFS ACTUELS?

par Henri MURADIAN

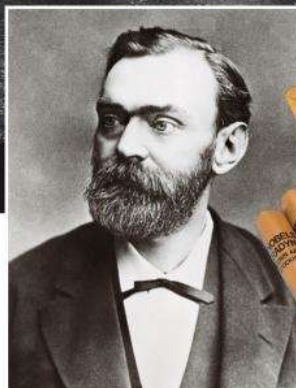
Indépendamment de nos opinions très répandues, les scientifiques ne sont pas des hommes sans craintes d'énergie, et leur perspective la plus séduisante est de pouvoir créer des explosifs plus puissants. Il est possible de réaliser des explosifs plus puissants que les explosifs actuels (nitroglycérine, nitrocellulose, etc.) mais ces explosifs sont extrêmement instables et dangereux à manipuler.





dans la foulée le dispositif qui en contrôle l'explosion: la nitroglycérine, enfermée dans une capsule métallique, explose sous l'effet d'une charge plus petite, composée de poudre à canon placée dans une capsule de bois munie d'une

amorce. Cette idée d'un détonateur qui met à feu un autre explosif est une idée de génie. Alfred Nobel en modifie plusieurs fois la conception, pour retenir finalement une capsule métallique contenant du fulminate de mercure. →



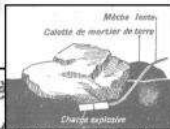
△ L'industriel suédois Alfred Nobel réussit le pari de stabiliser la nitroglycérine et dépose ce 7 mai 1867 le brevet de ses bâtons de "dynamite": 5 fois plus puissants que la poudre à canon, ils serviront notamment à percer les grands ouvrages d'art, comme le canal de Panama (photo).



LES EXPLOSIFS AGRICOLES

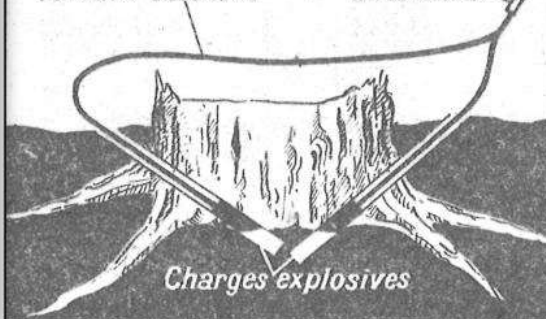
par Jean COTTENET

l'emploi des explosifs était encore, il y a un demi-siècle, une opération exception-



Cordeau détonant

Détonateur



1948 DU RECYCLAGE DES EXPLOSIFS EN TEMPS DE PAIX...

La paix enfin revenue, et avant l'avènement du machinisme agricole, "les explosifs peuvent rendre des services importants", prône S&V. Ils facilitent "des tâches longues et pénibles telles que la plantation et l'arrachage des arbres et tous les travaux d'aménagement du sol: dérochement, défonçage, drainage et irrigation. [...] Le produit idéal est l'explosif nitré [mais aussi] le nitrate d'ammoniaque", qui enrichissent au passage le sol en azote! **S&V n° 367**

→ Mais si les profits s'accumulent, les morts aussi. En Norvège, à San Franscico – 14 morts le 15 avril 1865 –, à Hambourg – où l'usine est soufflée... Tandis que Nobel s'épuise à prétendre que son huile est sans danger, de nombreux pays l'interdisent.

LE DÉFI DE LA STABILITÉ

Comment la rendre plus stable? En la faisant absorber par une substance inerte. Nobel essaie le fulmicoton, la poudre de papier, la sciure, la poudre de brique, le charbon, le ciment, l'argile... et le kieselguhr. Il se servait déjà de cette terre siliceuse très poreuse pour caler ses récipients de nitroglycérine. Jusqu'au jour où celle-ci a fissuré l'un des contenants et s'est mélangée au kieselguhr en formant une pâte aux propriétés idéales. En enfermant cette pâte dans un tube de carton paraffiné, Nobel obtient en effet un produit stable, insensible aux chocs ou aux changements de température et encore cinq fois plus



△ Les ventes de dynamite décollent très vite (ici une usine en 1897): l'explosif sera ainsi utilisé dès 1870 par les troupes prussiennes.

puissant que la poudre à canon. Ne restait plus qu'à la baptiser... Ce 7 mai 1867, quand Nobel dépose son premier brevet pour la dynamite en Angleterre, il sait qu'il tient enfin l'explosif idéal.

Les ventes décollent vite: 11 tonnes la première année, plus de 3 000 sept ans plus tard. La dynamite soutient les troupes prussiennes en 1870; participe au creusement du canal de Panama, à partir de 1879 – avec une commande astronomique de 30 000 tonnes! Au percement du tunnel du Saint-Gothard...

Dès 1868, l'Académie royale des sciences de Suède décerne aux Nobel père et fils le Letterstedt Prize "pour des découvertes importantes utiles à l'humanité": au père pour son usage de la nitroglycérine, au fils pour l'invention de la dynamite.

Récompenser un fabricant d'armes pour une découverte utile à l'humanité? Ce paradoxe résume l'énigme Nobel, qui ne cesse d'exprimer des convictions pacifistes... à sa façon: il souhaiterait inventer une substance ou une machine de guerre si terrifiante qu'elle

en rendrait la guerre impossible. Naïveté? Cynisme? La dissuasion nucléaire en reprendra, près d'un siècle plus tard, le principe.

En remplaçant le kieselguhr par du collodion, mélange d'éther et de coton, il obtient une masse gélatineuse encore plus puissante: la dynamite-gomme, l'explosif le plus utilisé au monde, dont il dépose le brevet en 1876. En 1887, il en conçoit une variante à partir de nitrocellulose, de nitroglycérine et de camphre: la balistite qui, à la demande de l'artillerie, ne dégage aucune fumée.

Nobel reste pourtant très lié aux mouvements pacifistes grâce à son amie Bertha Kinski... Et feindra toujours de n'y voir aucune contradiction. "Mes usines de poudre rendront les guerres inutiles plus vite que vos congrès", assure-t-il en 1892. Jusqu'à cette ultime pirouette: il lègue à sa mort, en 1896, son immense fortune tirée de la dynamite à l'organisation des fameux prix qui portent son nom... dont celui de la paix. **E. Monnier**

HERITAGE IMAGES/GETTY IMAGES

SCIENCE & VIE en parlait encore

1967 DES TUNNELS AUX FUSÉES

"Les meilleures substances détonantes actuelles sont vingt fois plus puissantes que la célèbre poudre noire. [...] A côté des bombes et des missiles, [...] les plus puissants d'entre eux ont permis de percer le tunnel du mont Blanc ou de forer les puits de pétrole, et aucune autoroute ne se construit sans dynamite." C'est aussi un mélange de dynamite-gomme appelé balistite qui propulse les fusées spatiales. **S&V n° 596**



2014 À LA PORTÉE DE TOUT LE MONDE?

"Les explosifs artisanaux, comme le TATP et le PETN, les plus connus, peuvent être élaborés à l'aide de produits du commerce (eau oxygénée ou acétone)", particulièrement difficiles à détecter sans appareil à diffraction des rayons X. D'où l'interdiction des liquides dans les avions. "Seul son dispositif de mise à feu, qui comporte souvent un circuit électronique, et donc du métal, peut le trahir. [Or] les terroristes savent aujourd'hui transformer un simple téléphone portable en détonateur." **S&V n° 1169**



NOUVEAU FORD KUGA

TREND 1.5 DIESEL TDCi 120 CH

249€

/MOIS*

LOA 48 MOIS. 15 000 KM/AN. 1^{ER} LOYER DE 3 990 €,
COÛT TOTAL SI ACHAT : 24 599,71 €.

Une autre façon de voir la vie.



UN CRÉDIT VOUS ENGAGE ET DOIT ÊTRE REMBOURSÉ. VÉRIFIEZ VOS CAPACITÉS DE REMBOURSEMENT AVANT DE VOUS ENGAGER.

*Location avec option d'achat d'un Kuga Trend 1.5 TDCi 120 ch BVM6 4x2 Type 09-16. Prix maximum au 09/01/17 : 27 000 €. Prix remisé : 23 415 € incluant l'option Pack Style Plus. 47 **loyers de 249 €/mois**. Kilométrage 15 000 km/an. Option d'achat : 8 910 €. Assurances facultatives. Décès dès 18,73 €/mois en sus du loyer. Coût de l'assurance : 899,04 €. Produit « Assurance Emprunteur » assuré par FACI, SIREN 479 311 979 (RCS Nanterre), et FICL, SIREN 479 428 039 (RCS Nanterre). Si acceptation par Ford Credit, RCS Versailles 392 315 776, ORIAS N° 07 009 071. Délai légal de rétractation. Offre non cumulable réservée aux particuliers pour toute commande de ce Kuga neuf, du 01/04/17 au 30/04/17, dans le réseau Ford participant. **Modèle présenté :** Kuga ST-Line 1.5 TDCi 120 ch avec options au prix remisé de 30 450 €, 1^{er} **loyer de 3 990 €**, option d'achat de 11 178 €, **coût total si achat : 33 030,35 €**, 47 **loyers de 380,05 €/mois**. **Consommation mixte (l/100 km) : 4,4. Rejets de CO₂ (g/km) : 115** (données homologuées conformément à la Directive 80/1268/EEC amendée).

Ford France, 34, rue de la Croix de Fer - 78122 St-Germain-en-Laye Cedex. SIREN 425 127 362 RCS Versailles.

ford.fr



Go Further